Affrontare il rischio di guerre causate dal cambiamento del clima

Agosto 2016 € 4,50

Le Scienze

www.lescienze.it

edizione italiana di Scientific American

DOSSIER - INTELLIGENZA ARTIFICIALE

Auto senza guidatore

Sulle nostre strade stanno per sbarcare veicoli a cui non serve più un pilota umano. Ma ci sono ancora molti ostacoli da superare

Evoluzione umana

Le mutazioni genetiche che permettono alla nostra specie di sopravvivere negli ambienti più estremi

Astrofisica

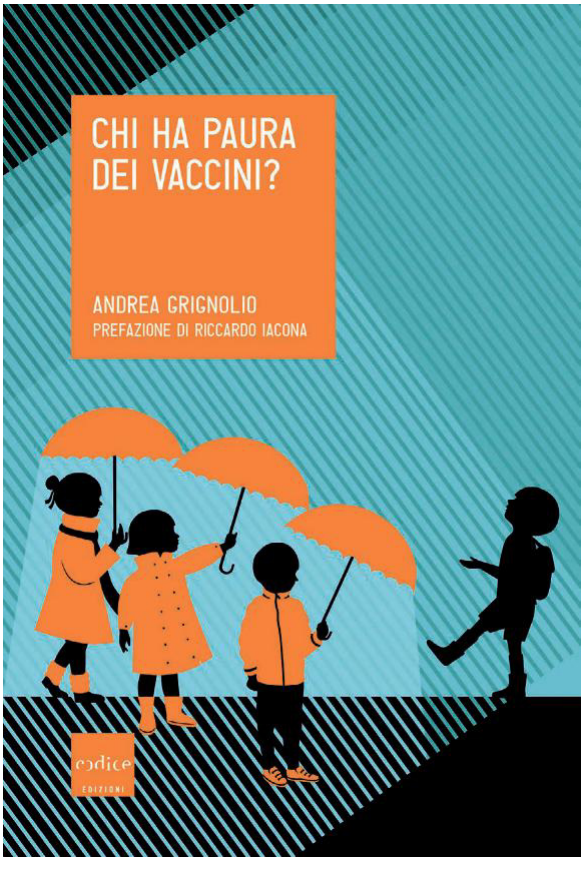
Nuove indagini celesti rivelano uno zoo di supernove dalle forme più bizzarre

POSTE ITALIANE SPED. IN A.P. - D.L. 353/2003 CONV. L. 46/2004, ART. 1, C. 1, DCB - ROMA RIVISTA MENSILE - NUMERO 576

ANDREA GRIGNOLIO
PREFAZIONE DI RICCARDO IACONA

CHI HA PAURA DEI VACCINI?

codice EDIZIONI



ANDREA GRIGNOLIO
CHI HA PAURA DEI VACCINI?
PREFAZIONE DI RICCARDO IACONA

256 pagine
Euro 14,00

UN RACCONTO STORICO PER FARE CHIAREZZA SUI VACCINI, PER COMPRENDERNE L'EFFICACIA E ANALIZZARE LE RAGIONI DI UNA CRESCENTE OPPOSIZIONE.

«Nell'opera di Grignolio c'è qualcosa di più, che ci riguarda da vicino anche se non siamo scienziati o medici. Ci riguarda come cittadini».
Riccardo Iacona

«Il primo libro che affronta il problema della resistenza sociale che induce a non vaccinare i bambini contro malattie potenzialmente letali».
Gilberto Corbellini

info@codiceedizioni.it
codiceedizioni.it

facebook.com/in.codice
twitter.com/codice_codice
pinterest.com/codice_codice

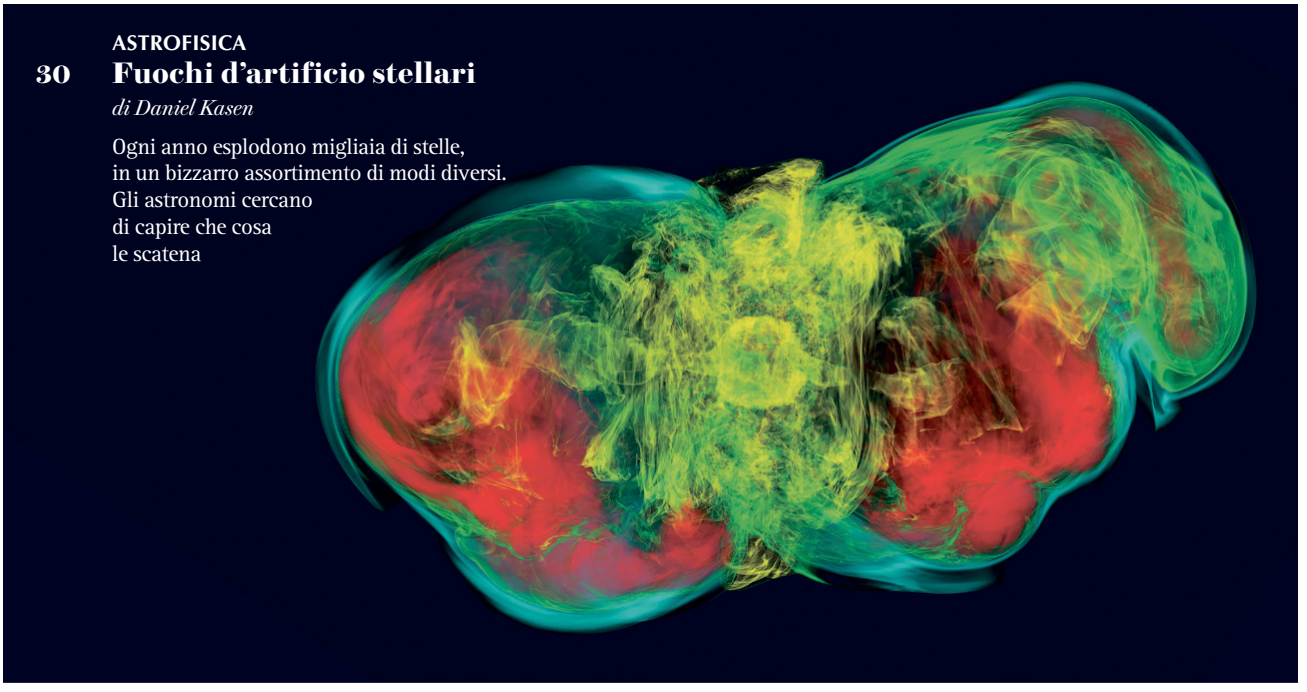
codice EDIZIONI

IN COPERTINA

Una delle applicazioni più promettenti del rinnovato interesse nell'intelligenza artificiale riguarda le automobili che non hanno bisogno di un pilota umano. Ma la strada per questo obiettivo è irta di ostacoli. (© rico ploeg/Alamy Stock Photo)

Sommario

agosto 2016 numero 576



ASTROFISICA

30 Fuochi d'artificio stellari

di Daniel Kasen

Ogni anno esplodono migliaia di stelle, in un bizzarro assortimento di modi diversi. Gli astronomi cercano di capire che cosa le scatena

SPECIALE INTELLIGENZA ARTIFICIALE

38 L'alba dell'IA

La promessa di automobili a guida autonoma e programmi che imparano da soli nuove capacità ha rilanciato l'interesse per l'intelligenza artificiale e allo stesso tempo la paura che un giorno le nostre macchine possano rivoltarsi contro di noi

COMPUTER SCIENCE

40 Macchine che imparano

di Yoshua Bengio

Dopo tanti anni di delusioni, l'intelligenza artificiale comincia a mantenere le promesse, grazie a una tecnica di apprendimento chiamata deep learning

TRASPORTI

48 La verità sulle auto «che si guidano da sole»

di Steven E. Shladover

Stanno arrivando, ma non saranno come ci spingono ad aspettarcele

COMMENTO

54 Dobbiamo aver paura di robot troppo bravi?

di Stuart Russell

Se non stiamo attenti potremmo trovarci alle prese con macchine determinate e intelligenti che inseguono obiettivi in conflitto con i nostri

EVOLUZIONE

56 L'ascesa dei mammiferi

di Stephen Brusatte e Zhe-Xi Luo

Alcuni fossili scoperti di recente rivelano che le basi evolutive del predominio dei mammiferi sulla Terra ebbero inizio molto prima che un asteroide provocasse l'estinzione dei dinosauri

GENETICA

64 Geni umani per ambienti estremi

di Matteo Fumagalli e Luca Pagani

Lo studio di genomi di popolazioni umane ambientatesi in aree tra le più inospitali della Terra può fornire indicazioni preziose sulla nostra evoluzione e per eventuali trattamenti di malattie

RISCALDAMENTO GLOBALE

74 Prevenire le guerre del clima

di Andrew Holland

Le forze armate degli Stati Uniti si stanno attivando per ridurre il rischio che siccità sempre più gravi, innalzamento dei mari e scioglimento del ghiaccio artico accelerino rivolte in grado di destabilizzare diverse aree del mondo

SCIENZE FORENSI

80 Dentro una voce

di Michele Catanzaro, Elisabetta Tola, Philipp Hummel e Astrid Viciano

Dedurre l'identità di una persona dalla voce con metodi fondati dal punto di vista scientifico è ancora molto difficile, eppure la fonetica forense è usata spesso nei tribunali

Cortesia Philipp Moesta, Università della California a Berkeley

Sommario

16

20

91

Rubriche

7 Editoriale
di Marco Cattaneo

9 Anteprima

10 Lavori in corso

12 Intervista
Piante contro l'inquinamento *di Giulia Alice Fornaro*

14 Made in Italy
Piccoli satelliti per grandi compiti *di Letizia Gabaglio*

16 Scienza e filosofia
L'evoluzione secondo le falene *di Telmo Pievani*

17 Appunti di laboratorio
Segnali sorprendentemente precoci *di Edoardo Boncinelli*

18 Il matematico impertinente
Ventitré gradi e mezzo *di Piergiorgio Odifreddi*

19 La finestra di Keplero
Per Giove! *di Amedeo Balbi*

20 Homo sapiens
Quei cannibali dei Neanderthal *di Giorgio Manzi*

88 Coordinate
Menù fisso globale *di Mark Fischetti*

89 Povera scienza
Storie di pazienza e prudenza *di Paolo Attivissimo*

90 La ceretta di Occam
La First Lady e il mascara tossico *di Beatrice Mautino*

91 Pentole & provette
Ghiaccioli per tutti *di Dario Bressanini*

92 Rudi matematici
Parenti contro ispettori
di Rodolfo Clerico, Piero Fabbri e Francesca Ortenzio

94 Libri & tempo libero

SCIENZA NEWS

21 Scrivere la vita
22 Più relatività nell'universo
22 Molecole chirali nello spazio
23 Come scompare il padre dai mitocondri
23 Attenzione al gene drive
24 Piogge di pianura e di montagna
24 Una capitale imperiale sepolta nella giungla
26 Immunità contro le malattie autoimmuni
27 Ai primordi dell'organizzazione sociale
27 Con l'effetto Ikea il robot piace di più
28 Brevissime

Michael Willmer Forbes Tweedie/Getty Images (*in alto*); cortesia Asier Gómez-Olivencia e altri (*al centro*); Lara Campi/EyeEm/Getty Images (*in basso*)

VOTA I LUOGHI CHE TI HANNO EMOZIONATO.

E SALVALI.

VOTA I TUOI LUOGHI DEL CUORE. INSIEME POSSIAMO CAMBIARE IL LORO DESTINO.

LA PIAZZETTA DEL TUO PRIMO BACIO, IL BORGO DOVE CORREVI DA PICCOLO, LA SPIAGGIA CHE HAI AMATO, LA VISTA CHE TI HA RIEMPITO DI FELICITÀ. SONO TANTI I LUOGHI SPECIALI CHE TI HANNO REGALATO UN'EMOZIONE. SE LI VOTI, PUOI CAMBIARE IL LORO DESTINO. FAI E INTESA SANPAOLO PRESENTANO L'8° CENSIMENTO NAZIONALE DEI LUOGHI ITALIANI DA NON DIMENTICARE. VOTA I LUOGHI CHE HANNO FATTO BATTERE IL TUO CUORE. INSIEME LI PROTEGGEREMO.

PUOI VOTARE FINO AL 30 NOVEMBRE 2016.

SUL SITO WWW.ILUOGHIDELCUORE.IT, CON L'APP FAI E NELLE FILIALI DEL GRUPPO INTESA SANPAOLO.

I LUOGHI DEL CUORE
LA TUA SEGNALAZIONE SALVA.

FAI
Fondo
Ambiente
Italiano

INTESA SANPAOLO

IL CENSIMENTO È REALIZZATO CON IL PATROCINIO DEL MINISTERO DEI BENI E DELLE ATTIVITÀ CULTURALI E DEL TURISMO.

IN COPERTINA

Stoffa da campioni

Se è vero che il talento da solo non basta, quali sono i tratti psicologici e fisici che fanno di alcuni atleti autentiche leggende dello sport?

E INOLTRE

La speranza

Analisi di un sentimento che non va confuso con l'ottimismo. E che si sta rivelando il motore della nostra vita psichica.

Dipendenze

I cambiamenti epigenetici causati dall'abuso di sostanze influenzano il modo in cui il cervello risponde alle esperienze.

IN EDICOLA

Mente & cervello

di Marco Cattaneo

Un'odissea inquietante

Il lato oscuro della vicenda giudiziaria di Ilaria Capua

Il 5 luglio, con la sentenza di Laura Donati, giudice per l'udienza preliminare del Tribunale di Verona, si è conclusa un'odissea giudiziaria che ha coinvolto una quarantina di persone. Per 16 indagati era stato chiesto il rinvio a giudizio per una serie di reati che disegnavano un quadro cupo: associazione per delinquere finalizzata a corruzione, ricettazione, somministrazione di medicinali pericolosi per la salute pubblica, procurata epidemia. Quest'ultimo è un reato per cui è previsto l'ergastolo.

Questo procedimento è salito alla ribalta delle cronache perché tra gli imputati figurava Ilaria Capua, parlamentare dal 2013 con Scelta Civica. Veterinaria, celebre virologa, direttore del Dipartimento di scienze biomediche comparate dell'Istituto zooprofilattico sperimentale delle Venezie, dieci anni fa aveva rivoluzionato le pratiche del settore rendendo pubblico il genoma del virus dell'influenza aviaria H5N1, come racconta lei stessa nell'intervista che abbiamo pubblicato sul numero di marzo.

Delle indagini e della sentenza si è occupata la stampa, ma vale la pena soffermarsi su alcuni aspetti inquietanti della vicenda. Per quanto riguarda l'accusa di epidemia, a pagina 17 la sentenza recita «mancanza, prima di tutto dell'evento». E quanto agli altri capi di accusa più gravi, che comprendono «la diffusione non più controllata del virus dell'influenza aviaria negli allevamenti avicoli del Nord Italia [...] con grave pericolo per l'incolumità e la salute pubblica», a pagina 18 si legge testualmente: «È dunque evidente come gli inquirenti abbiano stravolto gli esiti dell'inchiesta bolognese [...] per costruire accuse del tutto prive di fondamento perché poggianti su elementi fattuali non corrispondenti alle emergenze processuali».

Scorrendo i capi d'accusa, dal punto di vista scientifico emergono incongruenze incomprensibili, e forse inaccettabili, alla luce dei tempi geologici per cui si è protratta l'inchiesta. Si confondono i ceppi virali H7N3/It e H7N3/Pakistan, per esempio, che sono molto diversi. È come dire che una decappottabile (H7) rossa (N3) è necessariamente una Ferrari. Invece no, può essere una Cinquecento. Dipende dal motore, e questi due virus hanno un «motore» molto diverso. O ancora si legge che la somministrazione illecita dei vaccini avrebbe determinato un grave pericolo per la salute pubblica «derivante dal consumo della carne oggetto della vaccinazione indiscriminata». Ma l'influenza aviaria non è una zoonosi a trasmissione alimentare: non vi sono mai stati casi legati al consumo di carne.

Oltre dieci anni di indagini, insomma, sono serviti a chiedere un rinvio a giudizio (e ci si domanda perché non un'archiviazione, casomai), sulla base di errori grossolani o sulla costruzione di «accuse prive di fondamento». E viene spontaneo chiedersi perché non siano stati consultati esperti virologi che avrebbero potuto tranquillamente liquidare questi aspetti risparmiando tempo e denaro alla pubblica amministrazione e anni di tormento agli indagati.

Ilaria Capua se ne è andata in Florida. Così non abbiamo perso solo una ricercatrice di alto profilo, ma anche una persona che con il suo lavoro ha contribuito, tra il 2006 e il 2012, a far incassare all'Istituto zooprofilattico sperimentale delle Venezie oltre 12 milioni di euro in finanziamenti alla ricerca extra budget. E sappiamo quanto sia cruciale, in questi anni di vacche magre, una leadership in grado di catalizzare fondi internazionali. Con quei fondi sono stati pagati decine di ricercatori, PhD all'estero, attrezzature. Soprattutto, il centro diretto da Ilaria Capua è diventato un punto di riferimento a livello internazionale.

Viene spontaneo anche pensare all'indagine aperta dalla Procura di Lecce riguardo all'epidemia di Xylella in Salento, di cui abbiamo parlato molto sul nostro sito web. Auspicando che le cose non procedano così a rilento e con lo stesso pressappochismo. Nell'interesse degli indagati, ma anche del Salento e dei suoi olivi.

Comitato scientifico

Leslie C. Aiello
presidente, Wenner-Gren Foundation for Anthropological Research

Roberto Battiston
professore ordinario di fisica sperimentale, Università di Trento

Roger Bingham
docente, Center for Brain and Cognition, Università della California a San Diego

Edoardo Boncinelli
docente, Università Vita-Salute San Raffaele, Milano

Arthur Caplan
docente di bioetica, Università della Pennsylvania

Vinton Cerf
Chief Internet Evangelist, Google

George M. Church
direttore, Center for Computational Genetics, Harvard Medical School

Rita Colwell
docente, Università del Maryland a College Park e Johns Hopkins Bloomberg School of Public Health

Richard Dawkins
fondatore e presidente, Richard Dawkins Foundation

Drew Endy
docente di bioingegneria, Stanford University

Ed Felten
direttore, Center for Information Technology Policy, Princeton University

Kaigham J. Gabriel
presidente e CEO, Charles Stark Draper Laboratory

Harold Garner
direttore, divisioni sistemi e informatica medici, docente, Virginia Bioinformatics Institute, Virginia Tech

Michael S. Gazzaniga
direttore, Sage Center for the Study of Mind, Università della California a Santa Barbara

David Gross
docente di fisica teorica, Università della California a Santa Barbara (premio Nobel per la fisica 2004)

Danny Hillis
co-presidente, Applied Minds, LLC

Daniel M. Kammen
direttore, Renewable and Appropriate Energy Laboratory, Università della California a Berkeley

Vinod Khosla
Partner, Khosla Ventures

Christof Koch
docente di biologia cognitiva e comportamentale, California Institute of Technology

Lawrence M. Krauss
direttore, Origins Initiative, Arizona State University

Morten L. Kringelbach
direttore, Hedonia: TrygFonden Research Group, Università di Oxford e Università di Aarhus

Steven Kyle
docente di economia applicata e management, Cornell University

Robert S. Langer
docente, Massachusetts Institute of Technology

Lawrence Lessig
docente, Harvard Law School

John P. Moore
docente di microbiologia e immunologia, Weill Medical College, Cornell University

M. Granger Morgan
docente, Carnegie Mellon University

Miguel Nicolelis
condirettore, Center for Neuroengineering, Duke University

Martin Nowak
direttore, Program for Evolutionary Dynamics, Harvard University

Robert Palazzo
docente di biologia, Rensselaer Polytechnic Institute

Telmo Pievani
professore ordinario filosofia delle scienze biologiche, Università degli Studi di Padova

Carolyn Porco
leader, Cassini Imaging Science Team, e direttore, CICLOPS, Space Science Institute

Vilayanur S. Ramachandran
direttore, Center for Brain and Cognition, Università della California a San Diego

Lisa Randall
docente di fisica, Harvard University

Carlo Alberto Redi
docente di zoologia, Università di Pavia

Martin Rees
docente di cosmologia e astrofisica, Università di Cambridge

John Reganold
docente di scienza del suolo, Washington State University

Jeffrey D. Sachs
direttore, The Earth Institute, Columbia University

Eugenie C. Scott
Founding Executive Director, National Center for Science Education

Terry Sejnowski
docente e direttore del Laboratorio di neurobiologia computazionale, Salk Institute for Biological Studies

Michael Shermer
editore, rivista «Skeptic»

Michael Snyder
docente di genetica, Stanford University School of Medicine

Giorgio Vallortigara
docente di neuroscienze, direttore associato, Centre for Mind/Brain Sciences, Università di Trento

Lene Vestergaard Hau
docente di fisica e fisica applicata, Harvard University

Michael E. Webber
direttore associato, Center for International Energy & Environmental Policy, Università del Texas ad Austin

Steven Weinberg
direttore, gruppo di ricerca teorica, Dipartimento di fisica, University del Texas ad Austin (premio Nobel per la fisica 1979)

George M. Whitesides
docente di chimica e biochimica, Harvard University

Nathan Wolfe
direttore, Global Viral Forecasting Initiative

Anton Zeilinger
docente di ottica quantistica, Università di Vienna

Jonathan Zittrain
docente di legge e computer science, Harvard University

Y&R

Oggi puoi leggere Le Scienze direttamente su iPad.

La nuova applicazione disponibile sull'edicola Newsstand di iPad.

Porta Le Scienze sempre con te. Scarica l'applicazione sul tuo iPad e sfoglia i migliori approfondimenti su scienza, tecnologia ed innovazione. Scegli l'abbonamento che preferisci e leggi la rivista in prova gratuita per 1 mese.

Le Scienze

Uno sguardo sulle culture umane

A richiesta a settembre *L'evoluzione della cultura,* di Luigi Luca Cavalli Sforza

Siamo animali culturali e non siamo gli unici, visto che forme avanzate di cultura si osservano anche tra altre specie di mammiferi e in specie di uccelli. Tuttavia la nostra di specie, *Homo sapiens,* nella trasmissione ed evoluzione della propria cultura, o meglio delle culture che caratterizzano popolazioni umane diverse, ha potuto contare su un motore potentissimo: il linguaggio. È proprio grazie al linguaggio che possiamo trasmettere conoscenze tra generazioni o fra individui che non sono genitori e figli, e accumulare queste conoscenze nel tempo e nello spazio, da cui la definizione di cultura. Sarà poi l'interazione con l'ambiente a decretare se un dato insieme di conoscenze favorirà la capacità riproduttiva degli individui che ne sono portatori.

Per esempio, saper costruire barche per navigare in un mare pescoso e quindi poter contare su una risorsa alimentare in più rispetto a quelle che si possono trovare sulla terraferma favorisce indubbiamente le possibilità riproduttive degli individui di questa popolazione di pescatori, a patto di non naufragare troppo spesso, ovviamente.

Se tutto questo vi richiama alla mente un parallelismo con l'evoluzione biologica, non è un caso, come illustra Luigi Luca Cavalli Sforza in *L'evoluzione della cultura*, libro allegato a richiesta con «Le Scienze» di settembre, nuova edizione aggiornata, arricchita dall'aggiunta di una parte centrale basata sulle ricerche più recenti, di un testo fondamentale per chi occupa di scienza o è un appassionato.

L'autore non ha bisogno di presentazioni, è uno degli scienziati italiani più conosciuti al mondo, un genetista di chiara fama, le cui ricerche abbracciano anche l'antropologia. Proprio da questo abbraccio interdisciplinare è nato il libro, un vero e proprio manifesto della prospettiva storica di Cavalli Sforza sulla cultura umana. Nell'indagine lo scienziato porta alla luce le profonde analogie tra evoluzione biologica ed evoluzione culturale della nostra specie. Gli strumenti concettuali utili a capire la prima sono anche utili a capire la seconda, patto di trasformarli in modo da poterli applicare alla natura di quello che evolve: nella biologia sono i geni; nella cultura l'evoluzione riguarda le idee. Ed è così che anche in ambito culturale tornano ad agire fenomeni come mutazione o selezione, per esempio, i cui ruoli sono già stati ben investigati nell'ambito dell'evoluzione biologica, rispetto alla quale però l'evoluzione culturale ha un qualcosa in più: può influire sulla nostra biologia.

L'innovazione della vaccinazione è uno splendido esempio di questa ultima caratteristica. I vaccini hanno eretto un muro contro alcuni patogeni, permettendo a individui che senza vaccino quasi sicuramente non sarebbero sopravvissuti di arrivare al traguardo della riproduzione. La cultura quindi può influire sull'evoluzione genetica, mentre l'evoluzione culturale è in genere indipendente da quella biologica, sebbene sia ancora radicata l'idea di una base biologica, per le culture che osserviamo.

I geni non controllano interamente la cultura, afferma Cavalli Sforza, ed è bene sottolinearlo perché questa presunta stretta relazione tra geni e conoscenze umane può scivolare nel baratro del razzismo, anche contro le migliori intenzioni dei suoi sostenitori. Il manifesto di Cavalli Sforza arriva a dipingere un magnifico affresco dell'evoluzione culturale della nostra specie, partendo dalla sua nascita in Africa quasi 200.000 anni fa per arrivare alla conquista del mondo. In fondo, dati alla mano, siamo un'unica grande famiglia: quella umana.

RISERVATO AGLI ABBONATI

Gli abbonati possono acquistare i volumi di **La Biblioteca delle Scienze** al prezzo di € 7,90 incluso il prezzo di spedizione e telefonando al numero 199.78.72.78 (0864.256266 chi chiama da telefoni non abilitati).

La stessa offerta è valida per acquistare i volumi della collana **I grandi della scienza** nella nuova edizione al prezzo di € 6,90 incluso il prezzo di spedizione.
Il costo massimo della telefonata da rete fissa è di 14,37 cent di euro al minuto più 6,24 cent di euro di scatto alla risposta (IVA inclusa). Per chiamate da rete mobile il costo massimo della chiamata è di 48,4 cent di euro al minuto più 15,62 cent di euro di scatto alla risposta (IVA inclusa).

Piper Mackay/Getty Images

a cura di Giovanni Spataro

Un nuovo chilogrammo

La costante di Planck potrebbe diventare lo standard per questa unità di misura

Il cilindro composto da platino e iridio, e usato da 127 anni come riferimento per la definizione del chilogrammo, potrebbe andare in pensione, sostituito da uno standard legato a una proprietà invariante della natura (si veda *Questioni di peso* in «Le Scienze» n. 462, febbraio 2007). Al suo posto potrebbe subentrare la costante di Planck, che associa la frequenza di una particella quantistica alla sua energia, a sua volta legata alla massa da $E = mc^2$. Lo suggerisce un articolo su «Review of Scientific Instruments» che descrive le prestazioni di dispositivo messo a punto dallo statunitense National Institute of Standards and Technology, grazie a cui il valore della costante di Planck è stato ottenuto con un'incertezza di 34 parti per miliardo. Gli autori della misurazione ritengono di poter portare entro l'anno prossimo l'incertezza a 20 parti, la soglia richiesta per guadagnare lo status di standard di riferimento.

Tumori da bivalvi

Mitili. Esemplari di *Mytilus trossulus*, specie in cui è stato scoperto un cancro che si trasmette tra individui.

Il salto di cellule tumorali da un individuo all'altro e in grado di generare un cancro nel nuovo ospite è considerato un evento assai raro e che riguarda pochissime specie. Oltre ai cani e una specie di vongole, il più famoso e forse tra i più studiati di questi tumori che si comportano come agenti infettivi è quello che colpisce il viso del diavolo della Tasmania, mettendo a rischio questa specie di marsupiale (si veda *Il cancro del diavolo* in «Le Scienze» n. 516, agosto 2011). Ora però uno studio di Michael J. Metzger e Stephen P. Goff, entrambi della Columbia University, suggerisce che il fenomeno dei tumori trasmissibili potrebbe essere stato sottovalutato.

Come illustrato su «Nature», i due ricercatori hanno studiato alcune specie di bivalvi (*Mytilus trossulus*, *Cerastoderma edule*, *Polititapes aureus*), scoprendo che anch'esse sono suscettibili ha tumori emersi in seguito all'infezione di cellule cancerose che si trasmettono tra individui; le analisi infatti hanno escluso il ruolo di virus nella genesi di tumori. Addirittura, nel caso di *P. aureus* il tumore osservato era dovuto all'infezione da parte di cellule cancerose di un'altra specie di bivalve, *Venerupis corrugata*. Questa ultima osservazione ha portato alla luce un fenomeno nuovo e inquietante: la trasmissione di tumori tra generi diversi.

Due catastrofi per un'estinzione

Forse sarà una storia che non troverà mai una fine definitiva. Di certo l'estinzione dei dinosauri si arricchisce sempre più di tasselli intriganti con cui ricostruire lo scenario che 66 milioni di anni fa spinse questi animali sull'orlo del baratro (si veda *Che cosa uccise i dinosauri* in «Le Scienze» n. 50, febbraio 2016).

Il tassello più recente arriva da uno studio di Sierra V. Petersen dell'Università del Michigan ad Ann Arbor

In India. I trappi del Deccan oggi, sono una delle aree vulcaniche più estese della Terra: circa 500.000 chilometri quadrati.

pubblicato su «Nature Communications». Secondo la ricercatrice, la grande estinzione di massa che oltre ai dinosauri colpì anche tre quarti delle altre specie animali e vegetali della Terra, fu causata certo dalla caduta di un grande meteorite, come dimostrato già in passato da numerose ricerche. All'evento nefasto contribuirono però in modo decisivo anche fenomeni vulcanici assai violenti. In particolare, furono cruciali le eruzioni dei cosiddetti trappi del Deccan, nell'attuale India, che avrebbero immesso in atmosfera ingenti quantità di gas serra, provocando quindi un sensibile aumento della temperatura media della Terra.

La vicinanza temporale dei due eventi non avrebbe lasciato scampo alla stragrande maggioranza delle forme di vita del pianeta, aprendo però la strada all'ascesa definitiva dei mammiferi (*si veda l'articolo a p. 56*).

ITER infinito

L'avvio di ITER, il prototipo di reattore nucleare a fusione in costruzione a Cadarache, in Francia, è stato posticipato ancora una volta: ora il primo plasma è previsto per il 2025. Lo ha annunciato l'ITER Council, l'organo di governo del progetto che vede coinvolte Unione Europea, Russia, Stati Uniti, Cina, India e Corea del Sud, Giappone e che punta a dimostrare la fattibilità industriale di reattori che producano energia elettrica sfruttando la reazione di fusione di nuclei atomici, in questo caso tra atomi di deuterio e tra atomi di trizio.

Non è la prima volta che la data del primo plasma di ITER è posticipata, principalmente a causa di problemi nella gestione del progetto (si veda *I pezzi mancanti della fusione* in «Le Scienze» n. 528, agosto 2012). Alla partenza ufficiale del progetto nel 2006, però, il primo plasma era stato previsto proprio per il 2016, anno in cui il traguardo è stato spostato ancora più in avanti.

Andrew Brookes, National Physical Laboratory/SPL/Contrasto (*replica chilogrammo standard*); Jiang Hongyan/Shutterstock (Mytilus trossulus); cortesia Nicholas (Nichalp)/Wikimedia Commons (*trappi del Deccan*)

Le Scienze S.p.A.

Via Cristoforo Colombo, 98 - 00147 Roma

Codice fiscale, Iscrizione presso il Registro delle Imprese e Partita Iva n. 00882050156

Bilancio al 31 dicembre 2015

(pubblicato a norma dell'art. 1, comma 33, del D.L. 23 ottobre 1996 n. 545 convertito con legge 23 dicembre 1996 n. 650)

Stato Patrimoniale

euro

ATTIVO	31-12-2014	31-12-2015
A - Crediti verso soci per versamenti ancora dovuti	-	-
B - Immobilizzazioni		
I. Immobilizzazioni immateriali		
Concessioni, licenze, marchi e diritti simili	-	-
TOTALE IMMOBILIZZAZIONI IMMATERIALI	-	-
II. Immobilizzazioni materiali		
Impianti e macchinari	-	-
Mobili, dotazioni e automezzi	361	0
Altri beni	-	-
TOTALE IMMOBILIZZAZIONI MATERIALI	**361**	**0**
III. Immobilizzazioni finanziarie		
Partecipazioni in		
- altre imprese	665	665
Crediti		
- verso altri	0	0
TOTALE IMMOBILIZZAZIONI FINANZIARIE	665	665
TOTALE IMMOBILIZZAZIONI	**1.027**	**665**
C - Attivo circolante		
I. Rimanenze		
Materie prime, sussidiarie, di consumo	49.670	40.494
Prodotti finiti e merci	59.178	73.200
TOTALE RIMANENZE	**108.848**	**113.693**
II. Crediti		
Verso clienti	115.885	94.941
Crediti verso imprese correlate	652.344	843.644
Crediti tributari	1.136.866	1.320.705
Imposte anticipate	48.416	57.149
Verso altri	42.452	44.661
TOTALE CREDITI	**1.995.962**	**2.361.100**
IV. Disponibilità liquide		
Depositi bancari e postali	2.054.308	833.334
Denaro e valori in cassa	164	133
TOTALE DISPONIBILITÀ LIQUIDE	2.054.472	833.467
TOTALE ATTIVO CIRCOLANTE	**4.159.283**	**3.308.260**
D - Ratei e risconti		
Altri ratei e risconti attivi	9.205	42.363
TOTALE RATEI E RISCONTI	**9.205**	**42.363**
TOTALE ATTIVO	**4.169.514**	**3.351.288**

euro

PASSIVO	31-12-2014	31-12-2015
A - Patrimonio netto		
I. Capitale	103.400	103.400
II. Riserva sovrapprezzo azioni	-	-
III. Riserve di rivalutazione	-	-
IV. Riserva legale	20.680	20.680
V. Riserve statutarie	-	-
VI. Riserva per azioni proprie in portafoglio	-	-
VII. Altre riserve	-	-
VIII. Utili (perdite) portati a nuovo	17.080	22.201
IX. Utile (perdita) dell'esercizio	149.880	28.838
PATRIMONIO NETTO	**291.041**	**175.119**
B - Fondi per rischi ed oneri		
Fondi per trattamento di quiescenza ed obblighi simili	4.204	4.204
TOTALE FONDI PER RISCHI ED ONERI	**4.204**	**4.204**
C - Trattamento di fine rapporto di lavoro subordinato	**110.169**	**114.880**
D - Debiti		
Debiti verso fornitori	237.056	333.875
Debiti verso imprese correlate	2.304.317	1.461.705
Debiti tributari	25.437	26.584
Debiti verso istituti di previdenza		
e di sicurezza sociale	54.405	59.040
Altri debiti	71.092	96.568
TOTALE DEBITI	**2.692.306**	**1.977.771**
E - Ratei e risconti	**1.071.794**	**1.079.314**
TOTALE PASSIVO	**4.169.514**	**3.351.288**

Conto Economico

euro

	2014	2015
A - Valore della produzione		
Ricavi delle vendite e delle prestazioni	3.321.714	3.149.496
Variazione delle rimanenze di prodotti in corso di lavorazione, semilavorati e finiti	(133)	14.022
Altri ricavi e proventi	151.946	27.170
TOTALE VALORE DELLA PRODUZIONE	**3.473.526**	**3.190.688**
B - Costi della produzione		
Per materie prime, sussidiarie, di consumo e di merci	237.498	321.984
Per servizi	1.941.776	1.852.768
Per godimento di beni di terzi	303.280	333.091
Per il personale:		
- Salari e stipendi	384.682	402.495
- Oneri sociali	108.335	116.466
- Trattamento di fine rapporto	30.191	29.815
- Trattamento di quiescenza e simili	-	-
- Altri costi	8.087	8.557
Ammortamenti e svalutazioni:		
- Ammortamenti delle immobilizzazioni immateriali	-	-
- Ammortamenti delle immobilizzazioni materiali	1.081	361
Variazione delle rimanenze di materie prime, sussidiarie, di consumo e merci	109.819	9.176
Oneri diversi di gestione	78.893	44.057
TOTALE COSTI DELLA PRODUZIONE	**3.203.642**	**3.118.772**
DIFFERENZA TRA VALORE E COSTI DELLA PRODUZIONE	**269.884**	**71.916**

euro

	2014	2015
C - Proventi ed oneri finanziari		
Altri proventi finanziari		
- Da terzi	13.633	3.716
Utile su cambi	-	-
Altri oneri finanziari		
- Verso terzi	(5.028)	(4.729)
Perdite su cambi	(54)	(19)
TOTALE PROVENTI ED ONERI FINANZIARI	**8.551**	**(1.032)**
D - Rettifiche di valore di attività finanziarie	**-**	**-**
TOTALE DELLE RETTIFICHE	**-**	**-**
E - Proventi ed oneri straordinari		
Imposte relative a esercizi precedenti	-	-
TOTALE DELLE PARTITE STRAORDINARIE	**-**	**-**
Risultato prima delle imposte	**278.435**	**70.884**
Imposte sul reddito dell'esercizio, correnti, differite e anticipate:		
- Imposte correnti	(120.292)	(50.779)
- Imposte anticipate	(8.262)	8.733
Totale imposte	**(128.554)**	**(42.046)**
UTILE (PERDITA) DELL'ESERCIZIO	**149.880**	**28.838**

Prospetto di dettaglio delle voci del bilancio di esercizio al 31 dicembre 2015

(pubblicato a norma dell'art. 1, comma 33, del D.L. 23 ottobre 1996 n. 545 convertito con legge 23 dicembre 1996 n. 650)

01	Vendita di copie	**2.884.142**
02	Pubblicità	**170.047**
05	Ricavi da editoria on line	**76.413**
06	- Abbonamenti	**-**
07	- Pubblicità	**76.413**
09	Ricavi da altra attività editoriale	**18.894**
	Totale voci 01+02+05+09	**3.149.496**

di Giulia Alice Fornaro

Piante contro l'inquinamento

Stefano Mancuso illustra i vantaggi della fitorimediazione, ovvero l'uso delle piante per la bonifica di aree inquinate, rispetto ai metodi tradizionali

Sono oltre 40 i siti inquinati in Italia, ma i costi necessari per una bonifica, che estragga e porti in discarica tutto il terreno contaminato, sono esorbitanti: per 1000 metri cubi di terreno si arriva a mezzo milione di euro, senza contare il forte impatto ambientale. E allora tutto si blocca nell'attesa dell'eventualità che si faccia un investimento su quel terreno per la costruzione di strutture altamente remunerative. Una situazione generalizzata in Italia come in Europa. Eppure un rimedio ci sarebbe: si chiama fitorimediazione e consiste nell'usare piante per estrazione e detossificazione di sostanze inquinanti da terreni, aria o acqua. Troppo semplice per essere vero? No, è tutto reale e molto promettente come spiega Stefano Mancuso.

Quali sono i vantaggi della fitorimediazione?

A differenza dei metodi di risanamento tradizionale, che di fatto spostano solo il problema altrove, la fitorimediazione è un reale sistema di bonifica perché porta alla diminuzione nel tempo degli inquinanti. Alcune piante, indicate come iperaccumulatrici, arrivano ad assorbire inquinante fino all'uno per cento della loro biomassa. E a parità di costi dei metodi tradizionali si può bonificare da due a quattro volte la quantità di terreni. In alcuni casi poi, come alla Pertulosa di Crotone, diventa l'unica soluzione possibile, data la presenta di un sito archeologico sottostante.

Le istituzioni preposte alla tutela dell'ambiente recepiscono queste potenzialità?

Purtroppo la percepiscono poco e la principale obiezione è la lentezza. Per bonificare in modo completo la maggior parte dei terreni ci vogliono dai cinque ai dieci anni, mentre rimuovere fisicamente il terreno è immediato, ammesso che si faccia davvero però. Si tende poi a pensare che gli interventi più efficaci richiedano un elevato sviluppo tecnologico, e che le tecniche di natura biologica funzionino meno. Niente di più sbagliato: pur trattandosi «banalmente» di seminare delle piante, la fitorimediazione richiede in realtà studi complessi e competenze specifiche per rendere il processo il più efficiente possibile.

L'efficacia è provata dai dati. E di fatto le nostre proposte di fitorimediazione non hanno mai ricevuto critiche basate sui dati. Ora finalmente il Ministero della Difesa, accortosi di queste potenzialità, sta finanziando un nostro progetto.

Di che cosa si tratta?

Il progetto si chiama Vegetal System for Pollution Avoidance (VESPA) e i dati verranno resi pubblici nelle prossime settimane dallo stesso Ministro della Difesa.

Quali sono le piante più promettenti per la fitorimediazione?

Cortesia Stefano Mancuso (*tutte le foto, in questa pagina e a fronte, 3*)

Sono moltissime e a seconda delle condizioni climatiche possiamo usare per esempio salici, alcuni ibridi di pioppo o alcune popolazioni di paulownia. Sono piante che producono tonnellate di biomassa in pochi mesi con radici che vanno in profondità nel terreno. Ci sono però anche specie erbacee interessanti: canapa, girasole, alcune tipi di senape hanno un'efficienza di assorbimento molto elevata. La canapa per esempio si adatterebbe bene al clima dell'area di Taranto.

Come avviene l'assorbimento?

Dipende dal tipo di inquinante. Se è di natura organica è degradato completamente dalle piante. Il tricloroetilene (TCE) per esempio è un solvente molto comune che nel terreno verrebbe degradato in decine di migliaia di anni. Le piante riescono invece a trasformarlo rapidamente in cloro gassoso e acqua, facendolo sparire del tutto. I metalli invece, che sono inquinanti inorganici, non si distruggono e sono concentrati nelle piante.

Si può usare una pianta che ha accumulato un inquinante senza degradarlo?

Nel caso dell'assorbimento di metalli le possibilità sono due. Se

CHI È

Stefano Mancuso, fisiologo vegetale all'Università di Firenze e direttore del Laboratorio internazionale di neurobiologia vegetale con sedi in Europa e Giappone, studia i comportamenti e la comunicazione delle piante elaborando soluzioni tecnologiche bio-ispirate. **Nel 2002 ha ricevuto** il premio European Award for Innovation & Research per il suo lavoro sulla misura dei flussi ionici nelle cellule vegetali. È co-presidente della Commission F del Comitato per la scienza spaziale (COSPAR) e caporedattore di «Plant Signaling and Behavior» e «Advances in Horticultural Science». **Autore** di oltre 250 pubblicazioni scientifiche, per Giunti Editore ha pubblicato *Biodiversi* (2015), *Uomini che amano le piante* (2014), e *Verde brillante* (2013), vincitore di tre premi tra cui il National Award for Scientific Popularization.

Al lavoro. Accanto, il laboratorio diretto da Mancuso; sotto *Paulownia tomentosa*, pianta usata per la fitorimediazione.

la quantità di metallo è sotto i limiti di legge, il legno può essere impiegato in tutti i suoi vari usi, dalla combustione all'edilizia. Contrariamente a quanto si possa pensare, questa è una situazione molto comune: anche se nel terreno le quantità di metalli pesanti sono oltre i limiti di legge, una volta assorbiti dalle piante difficilmente la loro concentrazione è tale da impedirne l'uso.

In caso contrario le piante possono essere bruciate in modo controllato, magari producendo energia, per poi estrarre dalle ceneri il metallo ed eventualmente rivenderlo. È una possibilità che può diventare vantaggiosa se, come spesso succede, il metallo ha un certo valore sul mercato.

Come è possibile che le piante abbiano evoluto metodi così efficienti per assorbire sostanze introdotte nell'ambiente solo di recente dalle attività umane?

In 400 milioni di evoluzione anni le piante hanno sviluppato una batteria incredibile di enzimi in grado di degradare composti organici e che funzionano bene anche con composti inquinanti più recenti.

Ci sono poi terreni, come quelli di serpentino, un minerale ricchissimo di metalli pesanti, naturalmente inquinati da sempre eppure ricoperti da una flora che non solo sopravvive, ma assorbe inquinanti in modo attivo. Alcune felci si sono evolute in zone ricche di arsenico, un metalloide, e non crescerebbero bene con meno arsenico. Ma anche i coni deiettivi di miniere di rame o di ferro attive da migliaia di anni sono luoghi in cui il ricercatore, che all'occasione diventa un botanico esploratore, può trovare piante interessanti.

Come si interviene su questa fitorimediazione naturale?

Si punta a incrementare i valori di due parametri: la biomassa e la quantità di inquinante assorbita per unità di biomassa. La sfida principale è l'individuazione di specie sempre più efficienti e mirate per i singoli tipi di inquinamento. Si tratta di un lavoro lungo perché i terreni sono spesso contaminati da miscele eterogenee di inquinanti organici e inorganici diverse ogni volta. E i metodi usati sono quelli tradizionali di selezione e incroci: l'ingegneria genetica non è ancora entrata in questo campo e probabilmente non sarebbe nemmeno necessaria.

Come si inserisce il fitorisanamento nell'approccio neurobiologico del Laboratorio internazionale di neurobiologia vegetale allo studio delle piante?

Vivere su terreni naturalmente inquinati per una pianta è un problema da risolvere e in questo contesto la fitorimediazione è un tipico esempio di brillante intelligenza vegetale. Un altro aspetto è la memoria: una pianta che ha imparato a sopravvivere su terreni inquinati, se messa di fronte allo stesso problema, è in grado di risolverlo in modo più efficiente. Di recente abbiamo scoperto che anche l'epigenetica ha un ruolo importante: le strategie di sopravvivenza delle piante migliorano nel giro di appena una generazione.

di Letizia Gabaglio

Piccoli satelliti per grandi compiti

PicoSaTs sviluppa applicazioni per satelliti di piccole dimensioni che possono essere assemblati autonomamente e integrati con strumenti personalizzati

Dalla ricerca e dalla didattica al mercato è la strada, non scontata, che Anna Gregorio ha deciso di percorrere. Il campo è quello dei nano-satelliti, piccoli gioielli di tecnologia che possono essere sfruttati in agricoltura, per la navigazione in mare, per le telecomunicazioni. Astrofisica sperimentale, Gregorio da anni dirige un laboratorio di astrofisica dello spazio all'Università di Trieste, dove insegna ai suoi studenti come funzionano i satelliti. «L'obiettivo del corso era la realizzazione di un modellino, di dieci centimetri cubi, un nano-satellite concentrato di tutte le caratteristiche di un modulo normale, in tutto e per tutto funzionante», racconta la ricercatrice.

Per svolgere il suo lavoro di ricerca Gregorio è in contatto con l'agenzia spaziale europea (ESA), con gli ingegneri del suo ateneo, con astrofisici di tutto il mondo. Gli anni passano, le esperienze si accumulano, la rete di relazioni si arricchisce e, soprattutto, cambia lo scenario: i nano-satelliti diventano strumenti non solo per ricerca, per i militari e le agenzie spaziali, ma cominciano a essere usati anche per scopi civili. In altre parole, si apre un mercato in cui le competenze del gruppo di Gregorio possono essere messe a frutto. «Una delle esigenze emerse riguarda la disponibilità degli strumenti per effettuare misurazioni in atmosfera, esattamente il tipo di modulo che noi abbiamo costruito in laboratorio per anni», va avanti Gregorio. «Per poter sfruttare le nostre competenze, insieme ad alcuni miei colleghi, abbiamo deciso di fondare una *start-up* e di provare a realizzare un progetto commerciale».

Cambio di obiettivo

Nasce così nel 2014 PicoSaTs, il cui obiettivo iniziale era la messa a punto di piccoli moduli satellitari, i cosiddetti CubeSats. «Con la nostra idea abbiamo partecipato a diverse competizioni per start-up e abbiamo vinto consulenze e corsi di *business* con gli esperti dell'area di ricerca e dell'università grazie a cui abbiamo capito che non avevamo la forza industriale per puntare sulla commercializzazione di questi nano-satelliti», spiega l'astrofisica, che è amministratore delegato dell'azienda. «Così abbiamo deciso di puntare su un altro aspetto delle nostre ricerche, il sistema di comunicazione». Per svolgere il loro lavoro, infatti, i satelliti devono poter comunicare in maniera efficace ed efficiente con l'antenna a terra.

A oggi i nano-satelliti lo fanno sfruttando le frequenze su cui trasmettono anche i radioamatori. Sembra quasi paradossale, ma la tecnologia alla base della comunicazione di questi satelliti è ancora piuttosto antiquata anche se proprio la ricezione e l'invio di segnali è la parte più delicata del loro lavoro. «Se un satellite non riesce a comunicare bene è sostanzialmente un oggetto inutile», sottolinea Gregorio. «Eppure la realizzazione dei sistemi di comunicazione spesso non è al passo con i tempi. Ci si accontenta di

LA SCHEDA

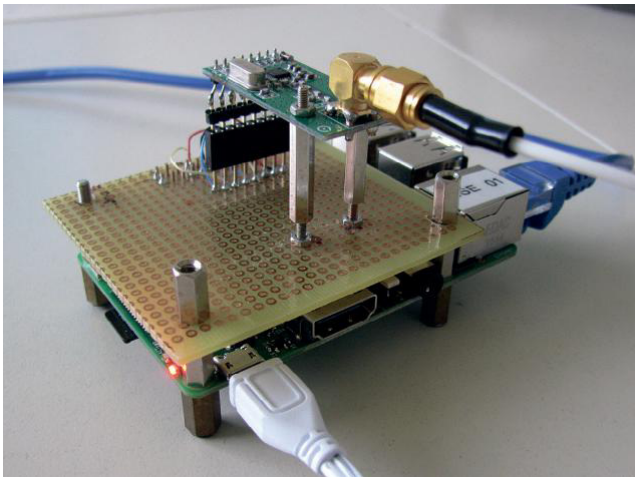
PicoSaTs

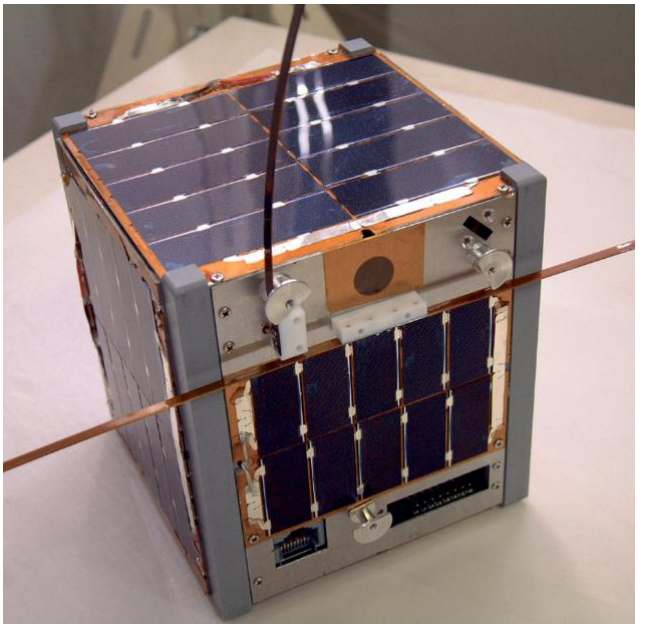
Fatturato
55.000 euro

Investimenti in ricerca
55.000 euro

Dipendenti/collaboratori
1+3 di cui 1+3 impiegati in R&S

Brevetti rilasciati
n.d.





Compagni della Terra. In questa pagina alcuni modelli dei nano-satelliti su cui lavora PicoSaTs, spin-off dell'Università di Trieste. A fronte, un'interpretazione artistica di satelliti di queste dimensioni in orbita attorno al nostro pianeta.

usare gli stessi sistemi dei radioamatori che sono facili da installare e a basso costo ma che permettono di trasferire pochi dati perché la banda a disposizione è limitata».

Migliorare si può, ma costa. Per prima cosa bisogna cambiare frequenze di trasmissione e da quelle basse, radioamatoriali, passare a quelle alte. Poi è necessario miniaturizzare il sistema che invia e riceve le informazioni, in modo da farlo entrare dentro il cubo-satellite. È questa la sfida in cui si è lanciata PicoSaTs: produrre un sistema di comunicazione efficace ed efficiente, a un costo contenuto. La competizione in questo campo è minore, anche perché in parecchi sono scettici sulla possibilità che si tratti di una scommessa che si può vincere.

C'è da dire che non ci si lavora solo a Trieste: alla NASA hanno creato uno spin-off che ha proprio lo stesso obiettivo di Gregorio. «Il loro lavoro comincia a rendere e questo per noi è un buon segno. Dalla nostra abbiamo la progressiva miniaturizzazione dei chip, che in prospettiva renderà sempre meno onerosa la creazione di sistemi in grado di essere montati su strutture nanoscopiche», dice l'amministratore delegato. Dalla sua parte Gregorio ha anche il mercato, che ha scoperto i servizi resi dai satelliti e non ne vuole più fare a meno.

Dall'agricoltura alla navigazione

I nano-satelliti possono essere usati in agricoltura, per monitorare le condizioni delle coltivazioni estese. Al contrario dei droni, che permettono di inquadrare da molto vicino una piccola porzione di terreno, i piccoli satelliti hanno una visuale ampia, che garantisce il controllo per ettari e ettari di coltivazioni, comunque sufficientemente accurata per controllare i parametri vitali – come la quantità di acqua - e segnalare la presenza di un problema. Un altro campo di applicazione è la navigazione: quando le navi sono troppo lontane dalla costa hanno bisogno di un «ponte» su cui triangolare i segnali di sicurezza che vogliono inviare a terra. Lo stesso sistema può essere usato anche per gli aerei che sorvolano gli oceani. In più, l'agenzia spaziale europea sta valutando di usare proprio questi cubo-satelliti per creare una nuova rete di telecomunicazioni.

Insomma, di possibili sviluppi per la tecnologia messa a punto da PicoSaTs ce ne sono. La sfida ora è arrivare tra i primi sul mercato e proporre una soluzione che al momento manca. «L'obiettivo è farcela in circa due anni, grazie anche al supporto dell'ESA che a brevissimo speriamo decida se scommettere sul nostro progetto dandoci un finanziamento e affiancandoci nel lavoro», dice ancora Gregorio. È l'eredità di conoscenze e relazioni degli anni passati a costruire nano-satelliti nel laboratorio dall'università che ora frutta. Insieme alle competenze della squadra che si è riunita intorno alla ricercatrice: due astrofisici, due ingegneri delle telecomunicazioni, fra i quali uno dei fondatori di Telit, azienda di telecomunicazioni attiva fin dagli anni ottanta nel triestino. «Senza dimenticare l'appoggio che ci dà l'ateneo, proprietario del dieci per cento dell'azienda», conclude Gregorio. «Proprio la nostra università ci ha spinto a fondare la start-up e aiutato a partecipare alle diverse competizioni». Dalla didattica e dalla ricerca al mercato la strada è meno lunga di quello che si potrebbe pensare.

Victor Habbick Visions/Getty Images (*pagina a fronte*); cortesia Picosat (*tutte le foto in questa pagina, 3*)

di Telmo Pievani
è professore ordinario di filosofia delle scienze biologiche dell'Università degli Studi di Padova

L'evoluzione secondo le falene

L'archetipo della spiegazione darwiniana per selezione naturale non ha più segreti

Ebbene sì, ancora *Biston betularia*, la falena punteggiata delle betulle, l'archetipo della spiegazione darwiniana per selezione naturale che non smette di attirare l'attenzione sia dei ricercatori sia di coloro che commentano le scoperte evoluzionistiche senza capirle. Riassunto delle puntate precedenti: il fenotipo scuro della falena è osservato nei dintorni di Manchester dalla prima metà dell'Ottocento e aumenta di frequenza durante la rivoluzione industriale. Spiegazione: le forme melaniche di giorno sono meglio mimetizzate sullo sfondo divenuto più scuro della corteccia impregnata di fuliggine, dunque sono soggette a minore predazione da parte degli uccelli rispetto alle forme punteggiate chiare (che invece si nascondono benissimo sui tronchi puliti e coperti di licheni). Un caso da manuale studiato da un secolo: un cambiamento di pressione selettiva ha causato una modificazione delle frequenze di una certa variante in una popolazione.

A riprova, dagli anni settanta del Novecento in poi la diminuzione dei fumi nell'aria ha invertito di nuovo la pressione selettiva, riducendo la *fitness* delle forme scure, meno mimetizzate sui tronchi tornati più chiari. Ma sono stati sufficienti alcuni esperimenti effettuati in modo non impeccabile sulle falene per scatenare tra creazionisti e antidarwiniani cocciuti una tempesta di polemiche. Una prova così elegante dell'evoluzione in atto doveva essere smentita a tutti i costi. Qualcuno ha insinuato che gli uccelli non potevano essere gli agenti selettivi e che le ricerche erano truccate. Altri detrattori, senza proporre alcun meccanismo alternativo plausibile, hanno sostenuto che anche se il fenomeno fosse stato reale non si sarebbe trattato di vera «evoluzione», perché nessuna novità reale era comparsa in natura durante il processo (dimostrando così di non cogliere il carattere statistico e popolazionale della spiegazione evoluzionistica).

La prima critica è stata archiviata tre anni fa (*si veda la rubrica di dicembre 2013*), quando abbiamo descritto i bellissimi risultati degli esperimenti del genetista ed entomologo di Cambridge Michael Majerus, pubblicati postumi a causa della morte prematura dello scienziato autore dei testi di riferimento sul melanismo industriale. Nel più vasto esperimento di predazione controllata fino ad allora realizzato (sei anni di lavoro, quasi 5000 falene monitorate una per una), il gruppo di Majerus ha documentato in modo incontrovertibile la predazione visiva differenziale da parte di nove specie di uccelli insettivori sulle falene «carbonarie».

La seconda critica è crollata sul numero di «Nature» del 2 giugno. Cinque anni fa su «Science» il melanismo industriale in questi lepidotteri era stato collegato a una mutazione singola e recente. Ora un gruppo coordinato da Ilik Saccheri dell'Università di Liverpool ha scoperto che la mutazione all'origine al melanismo industriale in Inghilterra consiste nell'inserzione di un elemento trasponibile nel primo introne del gene *cortex* (preposto alla divisione cellulare, ma coinvolto anche nel mimetismo). Il risultato conferma che i «geni saltatori» possono essere i responsabili di importanti novità fenotipiche adattative. Non solo, un'indagine statistica indica che il trasposone ha introdotto la variazione melanica intorno al 1819, in accordo con i primi rilevamenti di forme carbonarie in natura. Abbiamo quindi non solo la mutazione esatta, ma anche la data.

Bianco e nero. Due esemplari della falena *Biston betularia*, uno mimetizzato con il tronco scuro sui cui poggia, l'altro invece ben visibile, soprattutto ai predatori.

Sono stati in altri termini scoperti gli eventi mutazionali che hanno alimentato l'adattamento a cambiamenti ambientali: micro e macro-evoluzione, insieme; o più semplicemente, selezione naturale vista fin dentro il genoma. Non c'è dubbio che creazionisti e antidarwiniani ignoreranno anche questo risultato, ma si prova un godimento intellettuale unico nell'assistere al divario impietoso tra il dogmatismo che rimane sempre uguale a se stesso nei decenni e la curiosità paziente della ricerca scientifica che si corregge, accumula prove e conoscenze. Grazie di nuovo, Biston.

Michael Willmer Forbes Tweedie/Getty Images

di Edoardo Boncinelli
Università Vita-Salute San Raffaele, Milano

Segnali sorprendentemente precoci

Scienziati italiani hanno ottenuto un importante risultato nella diagnosi di autismo

Ritorno ancora sull'autismo, grave o gravissimo disturbo dello sviluppo del sistema nervoso dell'essere umano, che colpisce, e a volte funesta, molte famiglie e che sembra avere un'eziopatogenesi piuttosto ostica da decifrare. L'autismo, ricordo, interessa sfavorevolmente la vita di relazione degli individui affetti fin da ragazzi. Ci ritorno per l'importanza dell'argomento, e per l'incredibile natura di un recente potenziale avanzamento ottenuto da un gruppo guidato da Giorgio Vallortigara all'Università di Trento e pubblicato su «Scientific Reports».

Le tecniche per osservare il comportamento dei membri delle specie più diverse hanno avuto incredibili miglioramenti, sia come sensibilità sia come precisione, in tempi molto recenti. È ormai prassi diffusa osservare e riprendere i particolari dei comportamenti di esemplari di moltissime specie, tanto nel caso di individui adulti quanto in quello di individui giovani o addirittura appena nati, usando le forme di volta in volta più adatte di «telecamere» o di rilevatori di vario tipo e registrando il tutto.

Relazioni difficili. I disturbi appartenenti allo spettro autistico interessano sfavorevolmente la vita di relazione fin da piccoli.

Abbiamo già ricordato altre volte che, anche se certi tratti comportamentali sono comuni a molte forme di autismo, si è chiaramente in presenza di una patologia molto diversificata, sia qualitativamente sia quantitativamente, al punto che oggi si preferisce parlare di disturbi appartenenti allo spettro autistico (ASD, da *autistic spectrum disorders*) piuttosto che di autismo *tout court*. È anche possibile in linea di principio che disturbi di gravità diversa abbiano cause diverse. Come in tutte le situazioni del genere, fondamentale è l'aspetto diagnostico, meglio se precoce. Al momento una diagnosi affidabile deve aspettare i tre anni di età o anche più, ma se il disturbo è di natura congenita deve essere possibile diagnosticarlo anche prima, almeno in linea di principio.

L'esperienza fatta in questi anni dal gruppo di ricerca di Vallortigara nell'osservazione del comportamento di animali piccoli o piccolissimi ha però suggerito di tentare con i bambini piccoli, addirittura neonati, per vedere se si potevano cogliere differenze apprezzabili nel loro modo di rapportarsi a segnali di natura sociale. In sostanza si tratta di documentare se gli occhi del neonato fissano una determinata immagine o se ne disinteressano. L'immagine può essere una faccia stilizzata rispetto a una non faccia, oppure la rappresentazione di un movimento biologico reale rispetto a uno che sia impossibile da osservare nella realtà. Queste immagini sono visibili sullo schermo di un computer che il neonato guarda stando in braccio alla mamma, e i movimenti dei suoi occhi sono filmati e registrati; il tutto naturalmente ripetuto un certo numero di volte.

L'osservazione è stata effettuata su due gruppi di neonati che, sulla base di certe indicazioni genetiche, hanno un'alta oppure una bassa probabilità di sviluppare il disturbo. L'indicazione non è ovviamente a prova di bomba, e l'esperimento si può fare solo con forme che abbiano una qualche familiarità. Tuttavia, si osserva una chiara associazione statistica fra i dati osservati e l'attendibilità della classificazione diagnostica. Le osservazioni vanno ovviamente ripetute, e deve essere aumentato il numero dei casi osservati, ma il dato sembra particolarmente interessante, per diversi motivi.

Per prima cosa, si ha uno strumento per una diagnosi molto precoce di autismo. Oggi questo dato serve a poco, ma un domani che si disporrà di trattamenti efficaci, questi potranno essere messi in atto fin dall'inizio della vita. Inoltre, se almeno alcune forme di autismo possono essere osservate così precocemente, il problema è presente e purtroppo operante fin dai primissimi giorni, e questo potrà proficuamente orientare lo studio accurato della sua eziopatogenesi. Infine questo studio, insieme ad altri effettuati contemporaneamente su una certa predisposizione genetica all'autismo – e dei quali abbiamo già parlato - dovrebbero sgombrare definitivamente il campo da idee bizzarre sulla natura acquisita del disturbo e in particolare sulla sua comparsa a seguito di pratiche di vaccinazione condotte sui bambini. Ma su questo aspetto non sono ottimista: chi ragiona in questi termini non legge certo la letteratura scientifica! Perché «sa» già tutto.

RapidEye/Getty Images

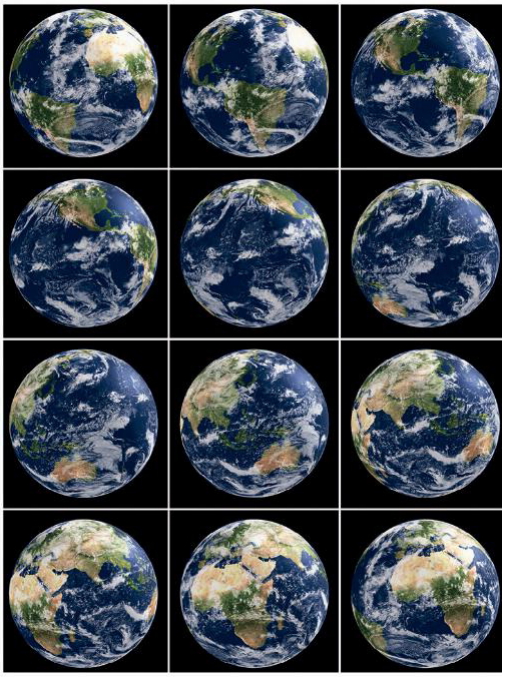
di Piergiorgio Odifreddi
professore ordinario di logica matematica all'Università di Torino
e visiting professor alla Cornell University di Ithaca (New York)

Ventitré gradi e mezzo

Geometria della rotazione della Terra e dei suoi effetti sull'insolazione del pianeta

Sembra che sia stato Parmenide a intuire per primo che la Luna non brilla di luce propria, ma della luce riflessa del Sole. Nel suo libro *Il mondo di Parmenide* (Piemme, 1998), Karl Popper considera questa scoperta come la scintilla che portò alla nascita della filosofia dell'essere. Capendo infatti che le fasi lunari non dipendono da cambiamenti interni della Luna, ma sono solo apparenze esterne prodotte dal suo movimento e dalla luce del Sole, Parmenide ne avrebbe infatti dedotto che dietro al mutevole divenire della Luna, e più in generale di tutte le cose, si nasconde uno stabile e immutabile essere.

Parmenide visse attorno al 500 a.C., e bastarono tre secoli per trasformare le sue timide anticipazioni in una sofisticata teoria dei moti celesti. Lo testimonia il poema *Ermes* del matematico Eratostene, che morì verso il 200 a.C. In un frammento dell'opera il dio si eleva in cielo, e osservando dall'alto la Terra la vede divisa in cinque zone astronomiche: la zona torrida attorno all'equatore, le due calotte polari gelate, e le due zone temperate intermedie.



Per definire le cinque zone in maniera precisa è necessaria una conoscenza dettagliata dei moti apparenti del Sole, che non sono affatto banali. A prima vista sembra infatti che esso si limiti a girare giornalmente in cerchio attorno alla Terra. Ma durante l'anno ci si accorge che l'orbita circolare si muove nel cielo, alzando e abbassando il percorso del Sole a seconda delle stagioni.

Agli inizi Anassagora immaginò che il piano dell'orbita giornaliera del Sole si muovesse parallelamente a se stesso in su e in giù nel corso dell'anno, come un soffietto. Ma Aristarco ebbe un'intuizione molto più precisa e capì che ci si poteva ridurre alla combinazione di due moti: un percorso annuale del Sole attorno a un centro, accoppiato a un percorso giornaliero del centro attorno alla Terra. E i due percorsi avvenivano su due piani inclinati fra loro di un angolo di circa 23 gradi e mezzo (più precisamente, 23°27′): un valore che si può facilmente determinare dividendo per due l'angolo formato dall'altezza massima e minima del Sole ai due solstizi.

Aristarco notò anche che, ponendosi dal punto di vista del Sole, il tutto si poteva riformulare in maniera equivalente dicendo che la Terra compie un percorso annuale di rivoluzione attorno al Sole e un percorso giornaliero di rotazione attorno a se stessa. E che l'asse di rotazione è inclinato di circa 23 gradi e mezzo rispetto al piano dell'orbita, chiamato eclittica.

Se l'asse di rotazione fosse perpendicolare all'eclittica, la zona torrida si ridurrebbe al solo equatore, dove il Sole sarebbe a perpendicolo a mezzogiorno di ogni giorno dell'anno, mai altrove. Le calotte polari invece sarebbero ristrette ai circoli polari, individuati dalle tangenti tirate dal Sole alla Terra: ovvero dai confini estremi del cono d'ombra terrestre. Sulle calotte il Sole non tramonterebbe mai, dovunque il giorno sarebbe più lungo della notte: sempre con la stessa durata, senza solstizi o equinozi, né stagioni.

A causa dell'inclinazione dell'asse terrestre, invece, i paralleli su cui il Sole raggiunge gli estremi del suo percorso si situano a circa 23 gradi e mezzo dall'equatore: si chiamano Tropico del Cancro a nord e Tropico del Capricorno a sud, e determinano gli estremi della zona torrida in cui il Sole si vede a perpendicolo almeno una volta l'anno. Il che succede due volte, a distanza temporale diversa: da due giorni consecutivi ai tropici, a cavallo di uno dei solstizi, a sei mesi di distanza all'equatore, agli equinozi (che corrispondono ai punti di intersezione del piano equatoriale con l'eclittica).

I paralleli su cui il Sole raggiunge il massimo possibile della sua durata giornaliera si situano invece a circa 23 gradi e mezzo dai poli: si chiamano Circolo Polare Artico a nord e Circolo Polare Antartico a sud, e determinano gli estremi delle zone in cui il Sole si vede per tutto il giorno almeno una volta l'anno, con il cosiddetto «Sole di mezzanotte». Il che succede un numero di volte diverso: da sei mesi consecutivi ai poli, a un solo giorno ai circoli polari, a uno dei solstizi. All'altro si ha invece il fenomeno simmetrico del Sole che non si vede mai durante il giorno, con il cosiddetto «buio di mezzogiorno».

Dovunque si ha invece il fenomeno dei cosiddetti equinozi, in cui il giorno dura quanto la notte. All'equatore questo succede ogni giorno, e nel resto della Terra solo due volte l'anno: agli equinozi, appunto, che ai poli dividono equamente il periodo del «Sole di mezzanotte» da quello del «buio di mezzogiorno», e all'equatore dividono verticalmente le zone a giorno della Terra da quelle a notte.

William Radcliffe/Getty Images

di Amedeo Balbi
Astrofisico, ricercatore al Dipartimento di fisica dell'Università di Roma Tor Vergata

Per Giove!

Lo studio di questo gigante farà luce sulla nascita dei pianeti del sistema solare

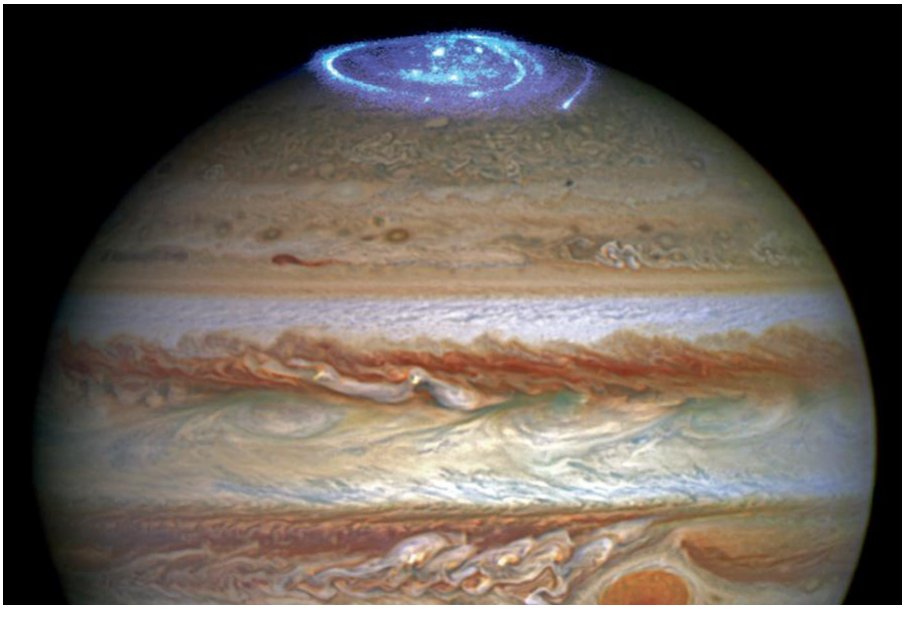
Scriveva Isaac Asimov che, se una intelligenza aliena dovesse classificare il nostro sistema solare, probabilmente lo inserirebbe nel suo catalogo come «stella di classe spettrale G0, quattro pianeti, più detriti»: dove i quattro pianeti sarebbero i giganti esterni – Giove, Saturno, Urano e Nettuno – e il nostro, ovviamente, sarebbe incluso tra i detriti. La frase è spesso citata in modo inesatto come «Giove più detriti», ma questa seconda versione, in realtà, non è poi tanto lontana dal catturare la vera essenza delle cose, almeno in termini di pura massa. Giove, infatti, è da solo due volte e mezzo più massiccio di tutti gli altri corpi che orbitano attorno al Sole messi insieme. È quindi plausibile che sarebbe il primo pianeta del nostro sistema ad attrarre l'attenzione di astronomi lontani, e che solo una certa insistenza, unita a raffinate tecniche di osservazione, li porterebbe a notare la presenza dei piccoli pianeti interni, tra cui il nostro.

Se adottiamo un punto di vista altrettanto imparziale, dobbiamo concludere che Giove è in effetti, per molti versi, l'oggetto astrofisico più notevole tra quelli che ci fanno compagnia nei nostri giri attorno al Sole. È una gigantesca palla di gas che ruota sul proprio asse al pazzesco ritmo di un giro ogni dieci giorni, pur avendo un raggio circa 11 volte più grande di quello terrestre.

Maestosità a parte, quello che rende Giove particolarmente interessante è il fatto che potrebbe nascondere alcuni dei segreti necessari a capire come si è formato il nostro sistema planetario. Giove, infatti, somiglia molto per composizione al Sole: tre quarti di idrogeno e un quarto di elio, grossomodo, il che fa pensare che sia stato il primo pianeta a formarsi, e che il processo sia stato abbastanza rapido da precedere il momento in cui gli elementi più leggeri della nube primordiale sono stati spazzati via dal vento solare. Questa rapidità è difficile da spiegare attraverso il meccanismo di graduale aggregazione di materiale che ha portato all'assemblaggio dei pianeti rocciosi interni, e potrebbe aver richiesto un processo separato, guidato da perturbazioni e addensamenti presenti inizialmente nella nebulosa. La chiave per capire come sono andate le cose potrebbe essere nascosta nell'abbondanza di elementi più pesanti e nella configurazione della struttura interna di Giove, per esempio, nel fatto se abbia o meno un nucleo solido, proprietà per il momento ancora incerta.

C'è poi il problema che la presenza stessa di un gigante gassoso su un'orbita così esterna sembra un po' un'anomalia: molti dei pianeti di questo tipo scoperti negli ultimi anni attorno ad altre stelle sono assai più vicini al loro astro. E non solo: nel nostro sistema solare sono assenti pianeti rocciosi molto più massicci della Terra, che invece sembrano essere comuni negli altri sistemi planetari. Per questo, molte idee sulla formazione dei sistemi planetari sono state rimesse in discussione: per esempio, si è ipotizzato che i pianeti «migrino» nel corso della loro esistenza, e che i giganti gassosi vicini alla loro stella siano finiti lì dopo essersi formati nelle regioni più esterne del sistema. Giove, da questo punto di vista, potrebbe essere un'eccezione, dovuta alla particolare natura delle risonanze orbitali con Saturno (per approfondire, si veda l'articolo *Nato dal caos* nel numero scorso della rivista). Un'eccezione che però potrebbe avere avuto conseguenze importanti per l'evoluzione del nostro stesso pianeta, e persino nella sua abitabilità a lungo termine.

Per questo è importante studiare più da vicino il re del nostro sistema planetario: proprio quello che farà la sonda Juno entrata con successo in orbita attorno a Giove il 4 luglio, e delle cui scoperte avremo sicuramente modo di riparlare nei prossimi mesi.



Aurora boreale. Le aurore non sono fenomeni unici della Terra, come mostra questa immagine di Giove scattata dal telescopio spaziale Hubble, in cui sono visibili aurore al Polo Nord gioviano.

Cortesia NNASA/ESA/J. Nichols, Università di Leicester

di Giorgio Manzi
Insegna paleoantropologia presso il Dipartimento di biologia ambientale dell'Università «La Sapienza» di Roma, dove dirige il Museo di antropologia «Giuseppe Sergi»

Quei cannibali dei Neanderthal

Scoperte prove di nuovi episodi di cannibalismo in questa specie umana estinta

In molti ci ricordiamo del film del 1981 diretto da Jean-Jacques Annaud: *La guerra del fuoco*. Non tutti sanno però che la sceneggiatura era tratta da un romanzo del 1909 (*La guerre du feu*), scritto da J. H. Rosny aîné, lo scrittore belga che, combinando naturalismo e fantastico, fu uno dei precursori della fantascienza come genere letterario, insieme a Jules Verne e altri.

Rosny aîné non poteva certo immaginare che le storie da lui raccontate in quel romanzo ambientato nel Pleistocene superiore potessero rivelarsi quasi una predizione delle conoscenze scientifiche di oltre un secolo dopo.

Parliamo ancora una volta di Neanderthal. Chi ha visto il film di Annaud, infatti, ricorda che i protagonisti sono verosimilmente Neanderthal che si aggirano, fra mammuth e altre creature pleistoceniche, alla ricerca di una fiammella che possa riaccendere il loro focolare perduto. Incontrano così vari gruppi di altri esseri umani; e questi sono molto diversi fra loro, per aspetto e abitudini. Ci sono uomini-scimmia che li attaccano con pietre e bastoni, altri omaccioni dal pelo rosso che si nutrono di carne umana e una misteriosa popolazione di aspetto moderno che sa produrre il fuoco, si copre il corpo di argilla e... sa ridere.

Quando lo vidi la prima volta pensai che fosse una sorta di sinossi, una strana sintesi delle conoscenze di inizio secolo sull'evoluzione umana, in cui si incontrano diverse specie del genere *Homo* che, nella realtà, si sono susseguite nel corso del tempo profondo. Oggi potremmo invece pensare che la sintesi proposta da Rosny aîné e poi da Annaud sia da immaginare nello spazio piuttosto che nel tempo. Sappiamo della grande diversità di specie umane che coesistevano in un vasto orizzonte geografico ai tempi dei Neanderthal che vivevano in Europa e parte dell'Asia: con gli ultimi *Homo erectus* e i minuscoli *Homo floresiensis* in Indonesia, varietà tarde di *Homo heidelbergensis* un po' ovunque, i cosiddetti «denisoviani» in Asia continentale, popolazioni di *Homo sapiens* diffuse in Africa e fuori dall'Africa. Ecco, potremmo pensare che nel film, come nel libro, questa diversità interspecifica sia stata riunita in una sola regione, in modo che le diverse specie interagiscano all'interno della medesima trama, così come nella realtà tutte interagirono a tratti fra loro e soprattutto (oggi lo sappiamo) con la nostra specie in diffusione.

Ma un articolo uscito di recente mi ha fatto pensare che la sintesi potrebbe ben rappresentare, invece, la diversità interna al solo mondo dei Neanderthal, oltre che al loro incontro con *H. sapiens*.

Solo un mese fa dicevamo della grotta Bruniquel, nella regione francese a nord di Tolosa, dove i Neanderthal hanno frequentato lo spazio sotterraneo alla luce delle loro torce, organizzando un ambiente a oltre 350 metri dall'imboccatura con strutture circolari puntellate da tronchetti di calcare. In precedenza, avevamo parlato di Neanderthal che costruivano collane con denti e conchiglie forate o di altri che si appendevano al collo artigli di uccelli rapaci o si infilavano fa i capelli le penne più appariscenti.

Almeno cinque. L'insieme di ossa ritrovate nella grotta di Goyet, appartenenti ad almeno cinque individui.

Ora è stato pubblicato su «Scientific Reports», rivista *open access* a cura dello stesso gruppo editoriale che pubblica anche «Nature», un bel lavoro di analisi interdisciplinare delle ossa di diversi Neanderthal venute alla luce nella grotta Goyet, vicino Namur, in Belgio. Alcune di queste ossa portano le tracce di essere state scarnificate e spezzate per cannibalismo e altre mostrano i segni di essere state irriverentemente usate come arnesi per ritoccare manufatti in pietra.

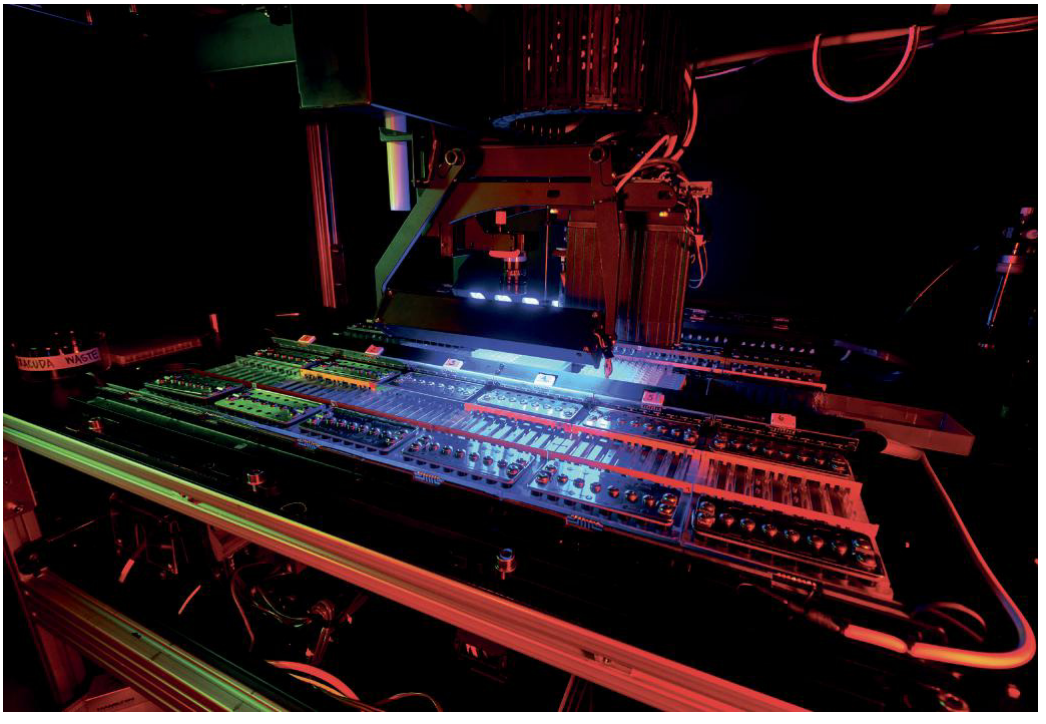
È allora davvero stridente il confronto tra Neanderthal dalle «attitudini moderne» e questi brutali cannibali loro conspecifici. Non è una novità assoluta (ci sono altri casi di cannibalismo fra i Neanderthal e non solo), ma sono costretto a ripetermi: i Neanderthal ancora ci sorprendono.

Cortesia Asier Gómez-Olivencia e altri

BIOLOGIA SINTETICA

Scrivere la vita

Proposto un progetto che punta a sintetizzare genomi artificiali funzionali



Martin Krzywinski/Getty Images

Al contrario. Macchina per il sequenziamento automatico di genomi al Genome Sciences Center di Vancouver, in Canada. Di recente un gruppo di scienziati di punta della biologia sintetica ha proposto di costruire in laboratorio genomi artificiali e di farli funzionare nelle cellule.

Dopo aver letto il genoma umano, serve un progetto altrettanto ambizioso per imparare a scriverlo: lo Human Genome Project-Write. Bisogna cioè creare le tecnologie e la cornice normativa necessarie alle manipolazioni genomiche su larga scala, per superare le modeste capacità odierne di sintesi delle catene di DNA. Partendo già quest'anno con 100 milioni di dollari da ottenere da finanziatori pubblici e privati, e procedendo poi per tappe intermedie che – attraverso uno sviluppo delle tecnologie, un abbattimento di mille volte dei costi, e un'ampia discussione etica e politica – porteranno alla meta ultima: saper sintetizzare interi genomi artificiali, umani o anche molto più grandi, e farli funzionare nelle cellule.

Lo propongono su «Science» 25 studiosi di punta della biologia sintetica guidati da Jef Boeke, direttore dell'Institute for Systems Genetics alla New York University.

L'idea scaturisce da due incontri riservati, uno l'anno scorso a New York e l'altro a maggio ad Harvard, in cui 130 scienziati, eticisti, imprenditori ed esperti di *policy* ne hanno dibattuto a porte chiuse e con l'invito a non diffondere in diretta sul Web quanto veniva detto. La segretezza ha sollevato critiche, di attivisti ma anche di colleghi accademici; ma poco dopo il succo del discorso è giunto sulle pagine di «Science», e presto dovrebbe essere diffuso un video del dibattito. «La riservatezza serviva per potersi esprimere e confrontare in libertà senza la paura di giudizi affrettati o fraintendimenti» hanno spiegato gli organizzatori.

Il progetto sarà promosso da un'organizzazione no profit, il Center of Excellence for Engineering Biology. I costi sono ardui da stimare ma dovrebbero restare sotto i tre miliardi del Progetto genoma umano, e una quota di ciascun *grant* dovrebbe essere destinata al dibattito etico e legale. Le applicazioni previste sarebbero notevoli fin dai progetti pilota. I genomi completi dovrebbero poi aiutare a creare organi animali trapiantabili, linee cellulari e organoidi modello per la ricerca farmacologica, o cellule con un codice genetico artificiale, e quindi invulnerabili ai virus che oggi complicano la produzione di farmaci nelle cellule di mammifero.

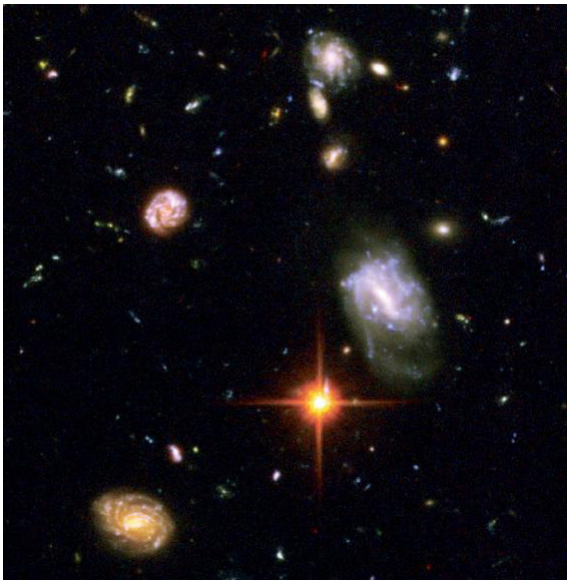
Non tutti com'è ovvio sono convinti. Il direttore dei National Institutes of Health statunitensi, Francis Collins, il quale tra l'altro ha guidato il gruppo dei ricercatori del Progetto genoma umano, giudica l'idea prematura, anche per i risvolti etici. Tuttavia i proponenti ribattono che proprio perché sono ancora tecnologie futuribili è meglio cominciare a discuterne adesso, e procedere con un piano collaborativo ragionato e trasparente, piuttosto che ritrovarsi un giorno a doverci fare i conti a sorpresa. «Se anche decidessimo che è una cosa non desiderabile, dovremmo comunque studiare come evitarla», concludono.

Giovanni Sabato

COSMOLOGIA

Più relatività nell'universo

Sviluppati modelli del cosmo che tengono pienamente conto delle equazioni di Einstein



I cosmologi sanno che per descrivere l'evoluzione dell'universo sono necessarie le equazioni della relatività generale. Ma sanno anche che non è semplice risolverle. Ecco perché, fino a oggi, l'evoluzione delle strutture era calcolata attraverso simulazioni a *N* corpi interagenti sotto l'effetto della gravitazione universale di Isaac Newton. Più semplice da trattare, certamente, ma non altrettanto efficace nel descrivere quello che ci rivelano le osservazioni.

Ora due gruppi indipendenti hanno sviluppato per la prima volta modelli relativistici di universo, in cui i codici numerici tengono pienamente conto delle equazioni di Albert Einstein. Il primo gruppo, guidato da Glenn Starkman, della Case Western Reserve University di Cleveland, in Ohio, ha applicato allo studio dell'espansione dell'universo i modelli sviluppati per l'analisi di oggetti compatti relativistici, come buchi neri e stelle di neutroni. L'analisi numerica, impiegata su un «universo giocattolo» (*toy universe*) contenente già in partenza una distribuzione disomogenea di materia coerente con le osservazioni, ha dimostrato l'esistenza di differenze sensibili nell'evoluzione rispetto ai precedenti metodi di calcolo non pienamente relativistici. Grazie al loro modello, descritto su «Physical Review D», Starkman e colleghi hanno inoltre potuto verificare l'azione della curvatura dello spaziotempo sulla propagazione della radiazione elettromagnetica.

Il secondo gruppo è composto da Eloisa Bentivegna, dell'Università di Catania, e da Marco Bruni, della Università di Portsmouth, nel Regno Unito. I due ricercatori italiani hanno applicato un modello simile a quello di Starkman e colleghi, partendo tuttavia da condizioni iniziali diverse. Lo studio, pubblicato su «Physical Review Letters», rivela che il tasso di espansione aumenta in maniera significativa nelle regioni a densità minore, mentre nelle regioni ad alta densità il collasso gravitazionale procede più rapidamente di quanto previsto dai modelli tradizionali.

Entrambi gli studi confermano dunque l'importanza di affrontare lo studio della cosmologia con modelli più accurati, che tengano conto di tutte le implicazioni della relatività generale.

Emiliano Ricci

Molecole chirali nello spazio

Un gruppo di astronomi ha osservato per la prima volta una molecola chirale nello spazio. La chiralità è una proprietà di alcune molecole che possono esistere in due forme speculari, dette enantiomeri, che hanno la stessa formula chimica, ma una struttura spaziale non sovrapponibile. Dal punto di vista delle caratteristiche chimico-fisiche, gli enantiomeri di una molecola chirale si comportano in maniera simile, tuttavia molti sistemi biologici mostrano una preferenza per una forma molecolare rispetto all'altra. Questa proprietà, nota come omochiralità, si osserva per esempio negli amminoacidi, i costituenti delle proteine, tutti levogiri, o nei carboidrati, in gran parte destrogiri, come il ribosio, costituente del DNA. L'origine di questa asimmetria, presente nella grande maggioranza degli organismi viventi, non è ancora nota.

Proprio con l'obiettivo di cercare risposte a questo problema, i ricercatori, guidati da Geoffrey Blake del California Institute of Technology di Pasadena, sono andati a caccia di molecole chirali nella nube molecolare Sagittarius B2, una vasta regione di formazione stellare in direzione della costellazione del Sagittario, verso il centro della nostra galassia. E lì hanno trovato l'ossido di propilene, che è quindi la prima molecola chirale osservata al di fuori del sistema solare. Per effettuare la ricerca, sviluppata nell'ambito del progetto PRIMOS (Prebiotic Interstellar Molecular Survey) e descritta su «Science», Blake e colleghi hanno usato il radiotelescopio di Green Bank, in Virginia, capace di distinguere le specie molecolari attraverso lo studio in banda radio degli spettri di emissione dovuti alle transizioni rotazionali, diverse a seconda della dimensione e della forma della specifica molecola. Le tecniche impiegate non hanno permesso di valutare l'abbondanza relativa dei due enantiomeri e quindi di stabilire se l'omochiralità sia già presente a questo livello o se invece sia il prodotto di successivi processi di selezione. È comunque un passo fondamentale per determinarne l'origine.

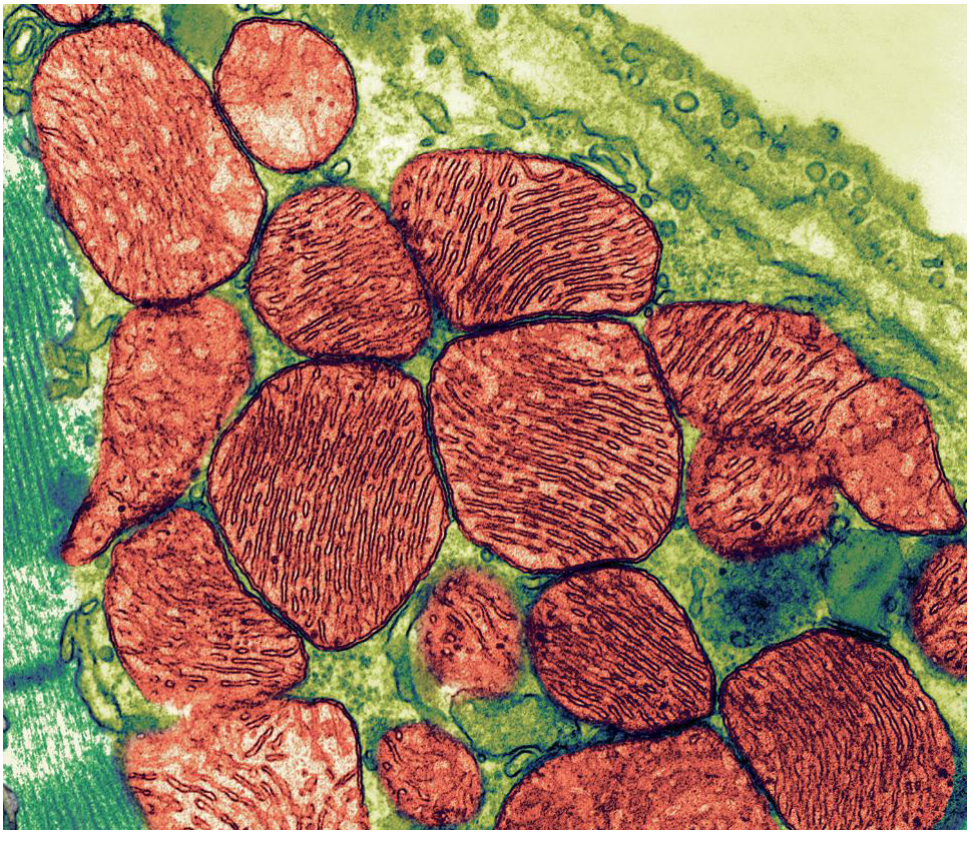
Emiliano Ricci

Cortesia NASA/ESA/S. Beckwith (STScI) e HUDF Team (*galassie lontane*); cortesia ESO/APEX & MSX/IPAC/NASA (*Sagittarius B2*)

BIOLOGIA DELLO SVILUPPO

Come scompare il padre dai mitocondri

Identificati i passaggi attraverso cui questi organelli paterni sono eliminati dopo la fecondazione



Thomas Deerinck, Ncmir/SPL/Contrasto

Oltre al DNA contenuto nel nucleo, ogni nostra cellula ha anche una piccola porzione di informazione genetica nei mitocondri, organelli che forniscono energia per i processi cellulari. Questa parte di DNA ha però un'origine particolare: non proviene dalla combinazione del patrimonio genetico materno e di quello paterno, ma deriva solo dalla madre. Nella maggior parte degli animali, quando si forma un nuovo organismo i mitocondri paterni sono eliminati insieme al genoma che custodiscono. Una ricerca di biologi dell'Università del Colorado a Boulder, negli Stati Uniti, ha identificato i meccanismi che portano alla loro scomparsa durante la fecondazione, studiando il fenomeno nel nematode *Caenorhabditis elegans*.

Finora si pensava che la distruzione dei mitocondri paterni fosse a carico dei macchinari cellulari dell'ovulo dopo l'ingresso dello spermatozoo. Gli organelli paterni sono infatti rapidamente circondati da strutture incaricate di demolire le componenti cellulari non più necessarie. I risultati dello studio pubblicati su «Science» indicano però che il processo inizia con un meccanismo di auto-distruzione degli stessi mitocondri paterni. A dare il via all'eliminazione sarebbe un gene, chiamato *cps-6*, che favorisce la distruzione del DNA mitocondriale degli spermatozoi, necessario per il normale funzionamento degli organelli. Solo dopo questa prima azione «suicida» entrerebbero in gioco le strutture dell'ovulo per eliminare i resti dei mitocondri. Quando il gene non è attivo, rivelano gli esperimenti degli scienziati, il processo di distruzione degli organelli è ritardato. E a pagarne le conseguenze è anche l'embrione: la permanenza dei mitocondri paterni nel nuovo organismo in via di sviluppo sembra aumentare la mortalità, forse a causa di un'incompatibilità tra il genoma del nucleo e quello degli organelli.

I risultati dello studio, suggeriscono i ricercatori guidati da Qinghua Zhou, indicano il meccanismo evolutivo che potrebbe aver portato alla trasmissione dei mitocondri per sola via materna. Restano da chiarire le ragioni per cui la presenza degli organelli paterni rappresenti uno svantaggio evolutivo.

Valentina Daelli

Attenzione al gene drive

Avanti con cautela, per costruire negli Stati Uniti un quadro normativo che possa fare da modello internazionale. È quello che raccomandano le National Academies of Sciences, Engineering and Medicine nel loro rapporto sul *gene drive*, la tecnologia che permette di modificare il genoma di un'intera popolazione in natura, per esempio per renderla incapace di trasmettere un parassita, o anche per cercare di annientarla. Il gene drive fa sì che la variante genica desiderata sia trasmessa da un individuo all'intera progenie; basta quindi introdurre in una popolazione alcuni portatori affinché la variante diventi egemone in poche generazioni.
Gli straordinari vantaggi possibili per salute, agricoltura e ambiente impongono di continuare a sviluppare la tecnologia nei laboratori, afferma il rapporto, che respinge richieste di moratoria. Anche esperimenti sul campo controllati non vanno esclusi a priori, purché ben preparati. Nel frattempo bisognerà approfondire gli studi ecologici ed evoluzionistici per poter prevedere gli effetti di questi organismi in natura, ed elaborare le norme per vagliare ciascuna domanda di impiego, evitando divieti o permessi indiscriminati, ma valutando caso per caso, coinvolgendo gli interessati e puntando a una doverosa armonizzazione internazionale.

Giovanni Sabato

CLIMA

Piogge di pianura e di montagna

Un modello climatico ha stimato come cambieranno le precipitazioni in un mondo più caldo

Sul nostro pianeta sembra che il regime delle piogge stia cambiando. In effetti, in un mondo più caldo c'è più evaporazione e più energia a disposizione. Tutto questo porta a una quantità totale di precipitazione aumentata a livello medio globale. Ovviamente ci sono distinzioni importanti alla scala di singole regioni del globo: per esempio, la sponda sud del Mediterraneo sta risentendo sempre più di carenza di piogge a causa dei cambiamenti nella circolazione generale dell'atmosfera indotti dal riscaldamento. Un po' più su, cioè alle medie latitudini, le precipitazioni sembrano aumentare leggermente, tuttavia i modelli danno un incremento più forte per il prossimo futuro.

In questo contesto, è interessante analizzare i cambiamenti che è possibile prevedere per le piogge che si verificano in montagna oppure in pianura. Come noto, in generale piove di più in altura, perché sul versante sopravento viene favorita l'ascesa rapida di aria con condensazione forzata del vapor d'acqua e piogge intense. Ma che cosa accadrà in un mondo più caldo? L'aumento di piogge sarà più sensibile in montagna o in pianura? Questa è la domanda che si sono posti Xiaoming Shi e Dale Durran, entrambi dell'Università dello Stato di Washington a Seattle. Per rispondere in maniera quantitativa, Shi e Durran hanno usato un modello in cui si sono messi in una condizione ideale, che ben rappresenta la situazione degli Stati Uniti. I due ricercatori hanno infatti considerato un emisfero nord in cui alle medie latitudini vi siano continenti caratterizzati dalla presenza di una catena montuosa nella loro parte occidentale estesa lungo i meridiani, esattamente come le Montagne rocciose nella parte occidentale del Nord America, con zone di pianura più a est. I risultati, pubblicati sul «Journal of Climate», hanno mostrato che l'aumento percentuale di piogge all'aumentare di ogni grado di temperatura è maggiore in pianura e sugli oceani rispetto alle zone montuose. In particolare, questo aumento sarebbe di circa il tre per cento.

Il fatto di usare un modello dinamico ha permesso anche di capire che queste differenze derivano dalla diversa risposta delle velocità ascensionali dell'aria al riscaldamento nelle varie aree. Lo studio ci dice anche che in futuro sempre più eventi estremi potranno verificarsi nelle zone pianeggianti.

Antonello Pasini

Studio 642/Getty Images (*pioggia*); Olaf Schubert/Getty Images (*Angkor Wat*)

Una capitale imperiale sepolta nella giungla

Grazie alla più dettagliata campagna di telerilevamento mai realizzata in questo ambito, l'archeologo Damian Evans dell'École française d'Extrême-Orient ha annunciato sul «Journal of Archaeological Science» il ritrovamento nella giungla cambogiana di uno dei più vasti complessi urbani di età medievale. La scoperta è stata possibile facendo ricorso al Laser Imaging Detection and Ranging (LIDAR), una tecnica simile al radar che permette di determinare con una risoluzione elevatissima la distanza di un oggetto o di una superficie sfruttando un impulso laser ad alta frequenza. L'elicottero con a bordo lo strumento ha esplorato una superficie di quasi 2000 chilometri quadrati attorno ai principali templi khmer della Cambogia, alla ricerca degli insediamenti che sostenevano i colossali complessi religiosi come Angkor Wat. Sorprendentemente, la scansione della giungla non ha restituito una mappa di centri rurali isolati bensì una vasta e tentacolare rete di grandi città densamente popolate, connesse tra loro da strade e canali idraulici.

L'indagine del 2015 completa quella preliminare di tre anni prima, grazie a cui era stata ritrovata una prima porzione di Mahendraparvata, per quasi un secolo capitale dell'impero khmer. Mahendraparvata risulta ora parte integrante di questo tessuto urbano, considerato il più vasto di epoca preindustriale e paragonabile per estensione all'odierna capitale cambogiana Phnom Penh.

Le costruzioni di questo vasto e complesso sistema urbano, risalenti al periodo tra il X e il XV secolo d.C., sarebbero state abbandonate, e quindi dimenticate, durante il misterioso collasso dell'impero khmer, iniziato appunto nel XV secolo. Poiché lo studio di questa grande civiltà del passato è basato principalmente sulle rovine dei maestosi edifici religiosi, la complessità e l'organizzazione economica e sociale dei Khmer rimangono per molti versi ancora ignote. La scoperta di Evans, considerata dagli archeologi tra le più rilevanti dell'ultimo secolo, promette di riscrivere la storia di quello che nel XII secolo fu uno dei più grandi imperi del pianeta, estendendosi su buona parte del Sudest asiatico.

Davide Michielin

Pubblicazione a norma della Legge 5 Agosto 1981 n. 416 e successive modificazioni

A. MANZONI & C. S.p.A.

Sede Legale Via Nervesa, 21 - 20139 Milano

Capitale Sociale Euro 15.000.000,00 i.v. - Socio Unico - Partita Iva/Codice Fiscale/Iscrizione nel Registro delle Imprese di Milano n° 04705810150
REA di Milano n° 1031852 Direzione e Coordinamento Gruppo Editoriale L'Espresso S.p.A.

BILANCIO REDATTO IN BASE AI PRINCIPI CONTABILI INTERNAZIONALI IAS/IFRS AI SENSI DEL D.LGS. 38 DEL 28 FEBBRAIO 2005

SITUAZIONE PATRIMONIALE - FINANZIARIA

ATTIVO (euro)	31 dicembre 2014	31 dicembre 2015
Attività immateriali a vita indefinita	-	-
Altre immobilizzazioni immateriali	-	-
Immobilizzazioni immateriali	-	-
Immobilizzazioni materiali	831.512	774.827
Altre partecipazioni	50.000	50.000
Crediti non correnti	201.074	207.308
Attività per imposte anticipate	2.709.762	2.956.525
ATTIVITÀ NON CORRENTI	**3.792.348**	**3.988.660**
Rimanenze	-	-
Crediti commerciali	161.508.500	177.039.817
Titoli e altre attività finanziarie	74.561	551.919
Crediti tributari	2.692.600	1.975.299
Altri crediti	2.925.938	2.062.572
Disponibilità liquide	6.683.360	11.582.176
ATTIVITÀ CORRENTI	**173.884.959**	**193.211.783**
TOTALE ATTIVO	**177.677.306**	**197.200.443**

PASSIVO (euro)	31 dicembre 2014	31 dicembre 2015
Capitale sociale	15.000.000	15.000.000
Riserve	8.277.586	8.832.878
Utili (perdite) a nuovo	(8.224.571)	(8.070.198)
Utile (perdita) d'esercizio	(2.444.708)	(3.989.948)
PATRIMONIO NETTO	**12.608.307**	**11.772.732**
Debiti finanziari	-	-
Fondi per rischi ed oneri	1.212.000	1.276.999
TFR e altri fondi per il personale	4.613.852	3.270.089
Passività per imposte differite	87.018	77.319
PASSIVITÀ NON CORRENTI	**5.912.870**	**4.624.407**
Debiti finanziari	33.484.883	55.689.451
Fondi per rischi ed oneri	1.986.726	3.601.226
Debiti commerciali	114.230.487	116.463.251
Debiti tributari	1.689.021	1.145.263
Altri debiti	7.765.012	3.904.113
PASSIVITÀ CORRENTI	**159.156.129**	**180.803.304**
TOTALE PASSIVITÀ	**165.068.999**	**185.427.711**
TOTALE PASSIVITÀ E PATRIMONIO NETTO	**177.677.306**	**197.200.443**

CONTO ECONOMICO COMPLESSIVO

(euro)	Anno 2014	Anno 2015
Ricavi	371.994.076	347.020.213
Altri proventi operativi	1.017.465	1.174.520
Costi per acquisti	(114.173)	(109.882)
Costi per servizi	(348.978.916)	(326.328.826)
Costi per il personale	(24.343.142)	(23.437.441)
Altri oneri operativi	(1.723.163)	(2.464.320)
Ammortamenti e svalutazioni	(89.439)	(84.513)
Risultato operativo	**(2.237.292)**	**(4.230.249)**
Proventi/(Oneri) finanziari netti	(765.801)	(887.045)
Risultato ante imposte	**(3.003.093)**	**(5.117.294)**
Imposte	558.385	1.127.346
RISULTATO NETTO	**(2.444.708)**	**(3.989.948)**
Altre componenti del conto economico complessivo	(376.680)	154.373
TOTALE CONTO ECONOMICO COMPLESSIVO	**(2.821.388)**	**(3.835.575)**

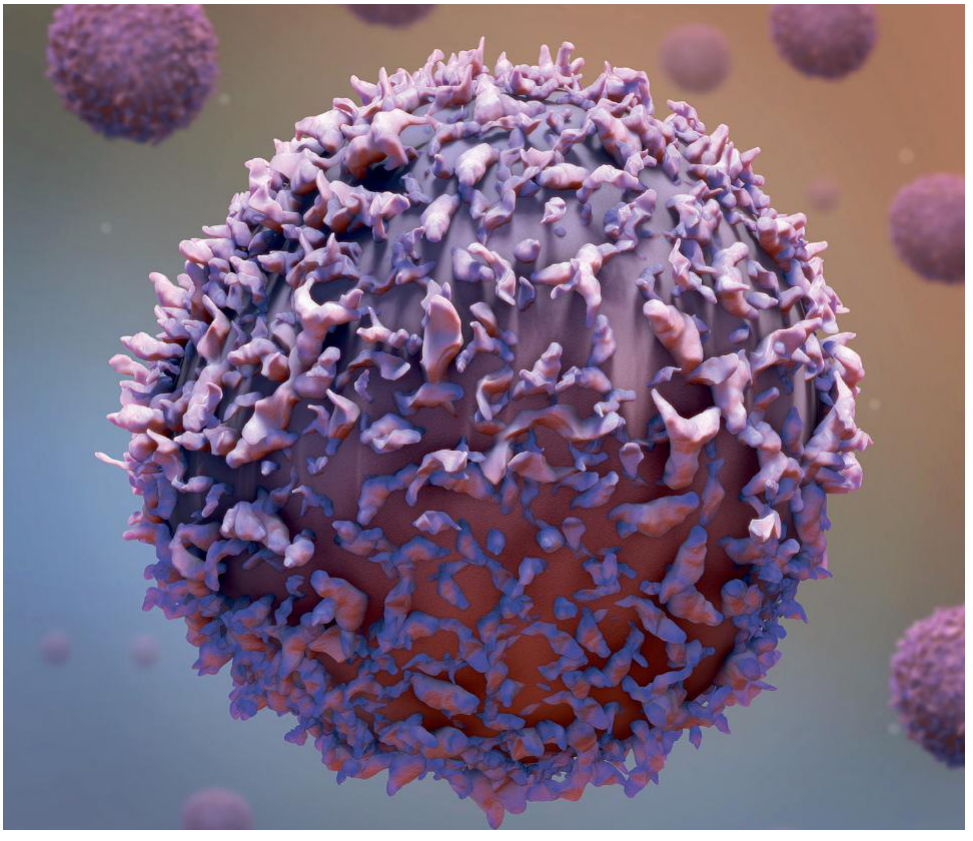
ELENCO DELLE TESTATE STAMPA IN ESCLUSIVA ALLA DATA DELLA PRESENTE PUBBLICAZIONE

Gruppo Editoriale l'Espresso SpA	LA REPUBBLICA	Finegil Editoriale SpA	IL CENTRO
	IL LUNEDÌ DI REPUBBLICA		IL MATTINO DI PADOVA
	AFFARI & FINANZA		IL MATTINO DI PADOVA-AFFARI IMMOBILIARI
	D LA REPUBBLICA DELLE DONNE		LA TRIBUNA DI TREVISO
	IL VENERDÌ DI REPUBBLICA		LA NUOVA VENEZIA E MESTRE
	LA REPUBBLICA TUTTO MILANO		IL TIRRENO
	LA REPUBBLICA TROVA ROMA		GAZZETTA DI MANTOVA
	NATIONAL GEOGRAPHIC ITALIANO		NUOVA GAZZETTA DI MODENA
	L'ESPRESSO		GAZZETTA DI REGGIO
	LE GUIDE DE L'ESPRESSO		LA NUOVA FERRARA
	LIMES		LA PROVINCIA PAVESE
	MICROMEGA		LA SENTINELLA DEL CANAVESE
Elemedia SpA	FANTACALCIO		LA CITTÀ-QUOTIDIANO DI SALERNO E PROVINCIA
	LE GUIDE DEL FANTACALCIO		MESSAGGERO VENETO
	CAPITAL MUSIC TIME		MESSAGGERO DEL LUNEDÌ
	DEE		IL PICCOLO
	PIANETA M2O		IL PICCOLO DEL LUNEDÌ
Le Scienze SpA	LE SCIENZE		CORRIERE DELLE ALPI
	MENTE & CERVELLO		LA NUOVA SARDEGNA
Editoriale Enea Srl	IL GIORNALE DELLA PROVINCIA	Seta SpA	ALTO ADIGE-TRENTINO
P.R.S. Srl	OK SALUTE	Swan Group Srl	SPIRITO diVINO
Manintown Srl	MAN IN TOWN		ARBITER
Unibeta Srl	IN SELLA	Unimedia Srl	AL VOLANTE

MEDICINA

Immunità contro le malattie autoimmuni

Sperimentata sui topi una terapia che rimuove solo gli anticorpi responsabili della patologia



Si può combattere una malattia autoimmune sfruttando la parte sana del sistema immunitario per eliminare quella malata. Lo ha dimostrato, ma finora solamente sui topi, uno studio pubblicato su «Science» da Aimee Payne, dell'Università della Pennsylvania a Philadelphia, in collaborazione fra gli altri con Giovanni Di Zenzo, dell'Istituto dermopatico dell'Immacolata di Roma.

Il pemfigo è una malattia in cui alcune cellule immunitarie (linfociti B) producono anticorpi contro una proteina della pelle e delle mucose, la desmogleina 3. Per curarla, Payne ha manipolato altre cellule immunitarie (linfociti T) così che uccidano selettivamente quelle responsabili della malattia.

Allo scopo ha usato una tecnica già in sperimentazione contro alcuni tumori: ha modificato il recettore con cui i linfociti T riconoscono il bersaglio, fondendolo alla desmogleina. I linfociti modificati riconoscono quindi come bersaglio le molecole che si legano alla desmogleina, cioè gli anticorpi anti desmogleina, e attaccano le cellule che li espongono. Infatti, una volta iniettati nei topi i linfociti modificati hanno attaccato selettivamente quelli dannosi, abbattendone il numero e attenuando in modo considerevole i sintomi del pemfigo. E si sono mostrati capaci di sopravvivere a lungo.

I ricercatori intendono ora verificare la tecnica nel cane, anch'esso soggetto al pemfigo, per poi passare agli studi sull'uomo.

Il successo non è scontato, perché testata contro il cancro la terapia sta dando esiti molto promettenti ma anche qualche effetto indesiderato grave. Se però i risultati saranno positivi, questi linfociti potrebbero garantire una terapia di effetto duraturo e mirata, che non abbatte l'immunità in modo indiscriminato come fanno le terapie immunosoppressive odierne. Una terapia selettiva è sempre stato il sogno di chi lavora su queste malattie, ma finora non era mai stata realizzata.

La tecnica potrebbe essere estesa ad altre malattie autoimmuni dai meccanismi analoghi, in cui è preso di mira un singolo antigene, mentre sembra più difficile un impiego contro malattie più complesse come la sclerosi multipla.

Giovanni Sabato

Una collana di neuroni per gli odori

I mammiferi sono in grado di rilevare e memorizzare più di 10.000 odori e ciò grazie sia al sistema olfattivo propriamente detto, che trasmette i segnali chimici dai recettori dell'epitelio nasale fino al bulbo olfattivo, sia al cosiddetto organo vomerosensoriale, situato alla base della cavità nasale e proposto alla captazione dei feromoni.

Ebbene, una ricerca della Harvard Medical School, pubblicata su «Cell», svela ora che in realtà esiste anche un terzo sistema, costituito da un gruppo particolare di neuroni disposti «a collana» al disopra del bulbo olfattivo e che captano gli odori in un modo ancora sconosciuto. Oggi si sa, infatti, che i recettori degli odori sono regolati da proteine di tipo GPCR (scoperta che vinse il premio Nobel nel 2004), ma gli esperimenti sui topi mostrano invece che il nuovo sistema olfattivo non impiega questo meccanismo, bensì sembra sfruttare la classe di proteine MS4A.

Poiché le analisi genetiche mostrano che le MS4A risalgono a 400 milioni di anni fa e che i loro recettori sono pertanto molto più «vecchi» di quelli dei due sistemi già noti, gli scienziati ipotizzano che i neuroni-collana (*necklace neuron*) possano costituire una specie di sistema primordiale di allarme agli odori dell'ambiente circostante potenzialmente pericolosi.

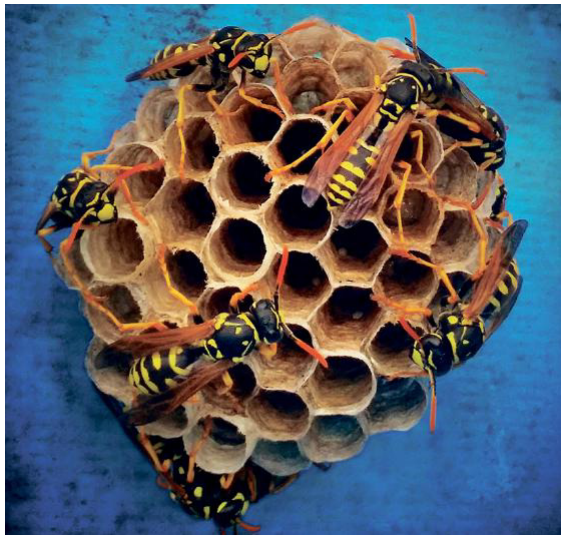
Marina Semiglia

Tim Vernon/SeL/Getty Images

GENETICA

Ai primordi dell'organizzazione sociale

Le complesse società di api e mammiferi avrebbero una radice genetica comune



La complessa organizzazione sociale tipica delle api e dei mammiferi ha un'origine genetica comune, andata perduta negli altri gruppi di animali. A sostenerlo sono i genetisti dell'Università dell'Illinois i quali, sulla rivista «PLoS Computational Biology», hanno pubblicato i risultati di un esteso confronto genomico tra i principali gruppi di animali.

Nonostante le linee evolutive di insetti e mammiferi si siano separate 670 milioni di anni fa, entrambi annoverano specie che presentano comportamenti e ruoli sociali ben definiti. Sulla base di questa osservazione, i ricercatori hanno condotto un'analisi computazionale di sociogenomica, la disciplina che studia la correlazione tra espressione genica e comportamenti sociali.

I ricercatori si sono concentrati in particolare su otto geni dell'ape europea (*Apis mellifera*) coinvolti nell'elaborazione di tre segnali chimici: risposta di allarme ai feromoni – i messaggeri chimici che sono alla base della comunicazione tra questi insetti – distinzione tra individui giovani e anziani e ascendente della colonia sul comportamento dei soldati.

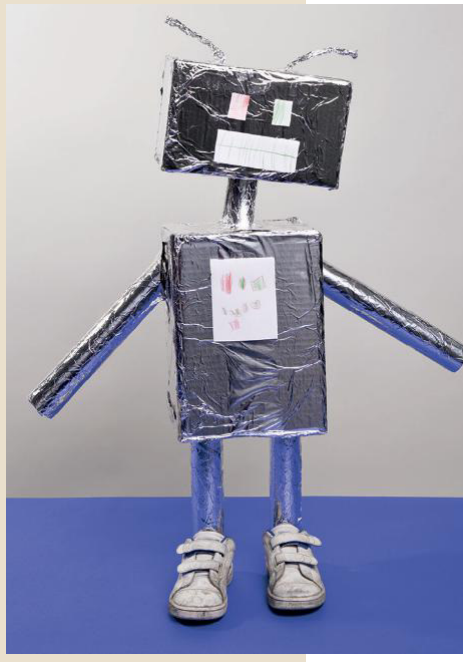
Tramite analisi computazionale è stato quindi esaminato il genoma di 54 diversi organismi alla ricerca di una rete di possibili ortologhi – geni che discendono da unico gene ancestrale – di questi otto geni. La scelta degli animali ha tenuto conto dell'albero filogenetico per includere artropodi, pesci, anfibi, uccelli e mammiferi oltre ad alcuni organismi primitivi come il lievito.

Mentre i geni ortologhi coinvolti nella capacità di riconoscere l'età e guidare il comportamento dei soldati sono frequenti negli organismi considerati, quelli relativi alla risposta ai feromoni sono risultati altamente conservati solamente negli artropodi più strettamente imparentati con le api (insetti sociali) e nei mammiferi placentati.

Nonostante il feromone in sé sia specifico dell'ape, l'espressione di questi geni alla ricezione di segnali conspecifici di allarme innesca cambiamenti nel metabolismo delle proteine che portano al rimodellamento di circuiti neurali critici. I ricercatori sostengono che questo meccanismo sia stato conservato per elaborare e rispondere adeguatamente alla comunicazione tra individui della stessa specie, essenziale per l'organizzazione sociale.

Davide Michielin

Con l'effetto Ikea il robot piace di più



Halfdark/Getty Images (*robot*); Lester Mcdaniel / EyeEm (*api*)

Tutti abbiamo provato almeno una volta nella vita il cosiddetto «effetto Ikea», quell'intima soddisfazione che ci pervade dopo che abbiamo contribuito, anche in minima parte, alla realizzazione di qualcosa che utilizziamo. Un mobile o un oggetto nati dal nostro sforzo ci sembrano più nostri e ci danno anche la sensazione di funzionare meglio. Questo effetto di sopravvalutazione del nostro apporto è stato riscontrato da vari studi anche nel rapporto tra uomo e computer: si è visto, per esempio, che personalizzare l'interfaccia di un'applicazione è sufficiente per stimolare un atteggiamento più positivo verso la tecnologia, un senso più elevato di controllo e un maggiore legame con il prodotto. Yuan Sun e S. Shyam Sundar, due studiosi del Media Effects Research Laboratory della Pennsylvania State University, hanno ora condotto un esperimento su 80 studenti per verificare se l'effetto Ikea funziona anche con i robot. I ricercatori hanno diviso gli studenti in due gruppi. Al primo è stato dato un piccolo robot umanoide, il Kumotek KT-X Gladiator, che per funzionare doveva essere dotato di batteria e connesso a un pc per un semplice setup del software. Il secondo gruppo, invece, doveva solo assistere a queste operazioni compiute da un addetto. Entrambi i gruppi hanno poi trascorso dieci minuti a interagire con il robot e infine hanno espresso il loro giudizio sull'esperienza.

«Il risultato – ha spiegato S. Shyam Sundar – è stato che chi ha assemblato il robot ha poi fornito valutazioni più positive anche sul suo funzionamento e sull'interazione avuta». A livello pratico, l'esperimento suggerisce ai produttori di robot, non solo giocattolo, che i loro prodotti avrebbero più successo se fossero venduti parzialmente da montare o configurare anziché già pronti all'uso, lasciando spazio a un po' di fai-da-te. Quello che ancora non è chiaro, e che i due scienziati si ripromettono di indagare in futuro, è quanto a lungo duri l'effetto Ikea con i robot e ogni quanto tempo si debbano prevedere nuovi interventi di personalizzazione per prolungarlo.

Riccardo Oldani

I batteri giusti per vivere cent'anni

Un gruppo di ricercatori dell'Istituto di tecnologie biomediche del CNR e dell'Università di Bologna, ha pubblicato su «Current Biology» una ricerca che verifica se, oltre a fattori come genoma e dieta, a influenzare la longevità è anche la composizione del microbioma intestinale. Per capirlo hanno analizzato la flora batterica intestinale di una settantina di persone dai 20 anni in su, fra cui 24 di oltre 105 anni di età. I risultati mostrano che mentre i giovani ospitano soprattutto batteri che svolgono un'azione positiva sulla salute, più si invecchia e più compaiono specie potenzialmente patogene, come gli enterobatteri «Forse questo accade perché più si vive e più i batteri da cui siamo circondati riescono a farsi strada nel nostro organismo» dice Marco Severgnini, dell'ITB-CNR. «Ciò avviene anche negli ultracentenari, ma in loro si riscontra una parallela proliferazione di specie che svolgono attività antiinfiammatoria e protettiva del rivestimento intestinale, e di batteri che sembrano ridurre il rischio di obesità e che vivono di preferenza in persone dotate di certe varianti genetiche. Potrebbe quindi essere che i geni dei centenari predispongano il loro intestino a ospitare batteri particolarmente benefici». (AlSa)

L'enzima di 3,5 miliardi di anni

Appena 500 milioni di anni dopo la comparsa dei primi organismi viventi erano già emersi enzimi altamente complessi e funzionali.

Un gruppo di ricercatori dell'Università di Regensburg, in Germania, ha ricostruito un complesso proteico appartenente all'ultimo antenato comune ai batteri attuali (LBCA, «Last Bacterial Common Ancestor»), vissuto circa 3,5 miliardi di anni fa. L'antico enzima è descritto su «Cell Chemical Biology.»

I dati paleontologici non permettono di studiare l'anatomia degli organismi più antichi, ma è possibile ricorrere alla tecnologia informatica per ricostruire gli alberi filogenetici delle proteine attuali. Elaborando i dati delle sequenze peptidiche di oltre 50 batteri, i ricercatori sono riusciti a risalire alla forma ancestrale della triptofano sintetasi, un enzima comune nei batteri e nei vegetali. L'enzima ancestrale è stato quindi sintetizzato in laboratorio per studiarne struttura e funzionalità, mettendo in risalto un'elevata attività enzimatica e una comunicazione tra le subunità paragonabile a quella degli enzimi attuali.

L'evoluzione di sistemi metabolici complessi avvenne più rapidamente rispetto ai modelli classici, secondo cui gli enzimi antichi erano semplici e poco efficienti. (FaPe)

Alle origini della reionizzazione cosmica

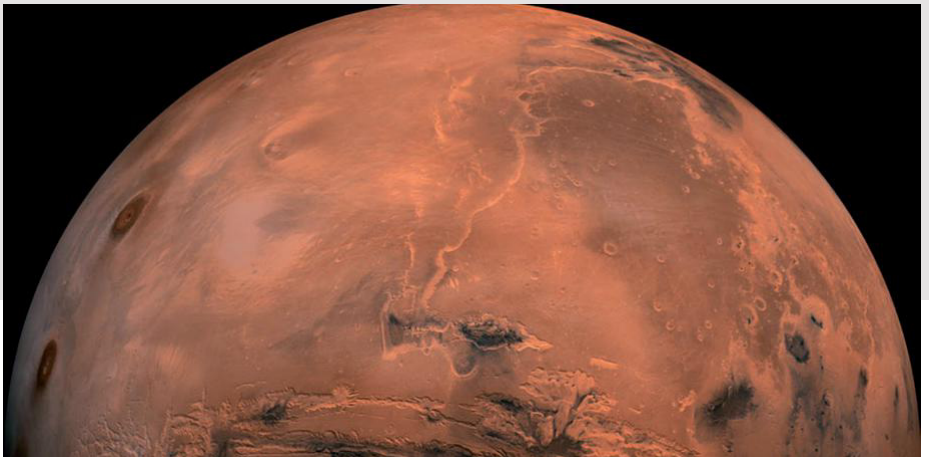
Settecento milioni di anni dopo il big bang nell'universo c'era già ossigeno ionizzato. Lo dimostrano le osservazioni condotte con l'Atacama Large Millimeter/submillimeter Array (ALMA), nel deserto di Atacama, in Cile, dal team guidato da Akio Inoue, dell'Università Sangyo di Osaka, in Giappone. Gli astronomi cercano da tempo di individuare in quale epoca, da una condizione sostanzialmente neutra, il gas cosmico abbia cominciato nuovamente a ionizzarsi e quali siano le sorgenti all'origine di questa reionizzazione.

La ricerca di Inoue e colleghi, descritta su «Science», ha intanto individuato ossigeno atomico ionizzato nella galassia SXDF-NB1006-2, distante da noi 13,1 miliardi di anni luce. La ionizzazione dell'ossigeno è prodotta dall'intensa radiazione ultravioletta di giovani stelle giganti, che quindi si erano già formate all'epoca.

Gli astronomi hanno anche determinato che l'ossigeno è dieci volte meno abbondante che nell'Universo attuale, in linea con le simulazioni condotte dallo stesso gruppo. Ma hanno anche scoperto che la galassia è povera di polvere, condizione che permette alla radiazione ultravioletta di arrivare a ionizzare gas anche fuori dalla galassia stessa. Un indizio che all'origine della reionizzazione cosmica potrebbero esserci proprio sorgenti di questo tipo. (EmRi)

Quando Marte era il pianeta bianco

Un tempo Marte non era il «Pianeta Rosso» ma brillava candido nel cielo: gran parte della sua superficie era infatti sepolta sotto un lenzuolo di ghiaccio spesso fino a 60 centimetri. È il quadro dell'ultima glaciazione marziana dipinto dalle osservazioni radar del Mars Recoinnassance Orbiter, pubblicate a fine maggio su «Science». Il radar della sonda ha mappato per centinaia di metri in profondità le calotte polari, dove il ghiaccio è deposto in una serie di strati, memoria dei cicli climatici passati. L'asse di rotazione marziano, perturbato dalla gravità degli altri pianeti, si inclina infatti periodicamente fino a 60 gradi, generando stagioni estreme e un clima inedito sulla Terra, in cui i poli diventano più caldi delle latitudini medie. Il ghiaccio ai poli sublima quindi in vapore acqueo, che, trasportato dai venti, solidifica rivestendo gran parte del pianeta. Quando l'inclinazione dell'asse torna a diminuire, le latitudini medie si riscaldano e il ghiaccio migra nuovamente ai poli. Il radar ha rivelato strati corrispondenti ad almeno quattro cicli glaciali, l'ultimo dei quali avrebbe raggiunto il suo massimo circa 370.000 anni fa. Da allora i ghiacci si sono ritirati e stanno tuttora continuando ad accumularsi ai poli. E Marte è tornato a splendere del colore rosso con cui lo conosciamo. (MaSa)



Caspar Benson/Getty Images (*candele*); NASA/JPL-Caltech (*Marte*)

Insetti agricoltori

Un team internazionale di ricercatori ha scoperto la più antica testimonianza fossile di agricoltura. Risale a 25 milioni di anni fa e si trova nella stessa regione africana che ha visto evolvere la specie umana, la Great Rift Valley. Non si tratta però di precoci attività agricole tentate da qualche ominide (i primi comparvero 20 milioni di anni più tardi), ma di raffinate tecniche messe a punto dagli insetti, in particolare termiti coltivatrici di funghi. Questi formidabili architetti costruiscono tuttora nidi molto complessi, con camere sotterranee riempite di materiali vegetali. La loro decomposizione crea un substrato adatto a coltivare i funghi, che sono il loro cibo.

L'analisi del DNA di termiti moderne aveva collocato l'origine della simbiosi termite-fungo a 25-30 milioni di anni fa. Ora, grazie a un fossile ritrovato in Tanzania, abbiamo la conferma. Come i nostri antenati, le termiti lasciarono la foresta per vivere nella savana, ma inventarono l'agricoltura molto prima di noi. (EuMe)

La prima orma fossile di *Homo erectus*?

Un gruppo di ricerca italo-eritreo potrebbe aver trovato la prima orma fossile sicuramente appartenente a *Homo erectus*. La scoperta, non ancora pubblicata, si deve alla Eritrean-Italian Danakil Expedition, coordinata da Alfredo Coppa, paleoantropologo della «Sapienza» Università di Roma. «Nel dicembre scorso, l'ultimo giorno della nostra sesta campagna di scavo a Mulhuli-Amo, in Dancalia, un'area ricca di fossili di *H. erectus* risalenti a un milione di anni fa, la nostra guida Afar ha individuato nel letto secco di uno uadi un'orma umana, impressa in quella che 800.000 anni fa era la sponda di un lago» ci racconta Coppa. «Vicino a quella, ma molto meno chiare, abbiamo poi trovato altre tre possibili impronte umane, oltre a orme animali».

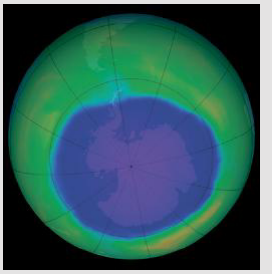
Se confermate, si tratterebbe delle prime impronte certe di *H. erectus*, poiché altre trovate in Kenya potrebbero appartenere ad altre specie di ominidi. L'antica sponda del lago oggi è sotto metri di sabbia, e solo in piccola parte è stata liberata da pioggia e vento, che hanno però anche eroso le impronte visibili. «A novembre torneremo lì e inizieremo a riportare alla luce lo strato con le impronte, sperando di trovarne altre e più chiare, che ci diano indizi non solo su deambulazione, altezza e peso degli individui, ma anche sul loro comportamento e socialità». (AlSa)

Intelligente come una gallina

Alcuni uccelli sono straordinariamente intelligenti, a dispetto della piccola dimensione dei loro cervelli, sia in termini assoluti che relativi rispetto alla taglia corporea. Come si spiegano dunque i loro comportamenti cognitivamente complessi? La soluzione di questo rompicapo evolutivo viene da uno studio sui «Proceedings of the National Academy of Sciences» che ha esaminato in dettaglio la composizione neuronale di 28 specie di uccelli.
Le capacità cognitive di questi animali, a volte paragonabili a quelle dei primati, sono determinate dall'elevatissima densità dei neuroni nei loro cervelli, assai superiore a quella dei mammiferi, uomo compreso. Nelle specie considerate «meno intelligenti», come l'emù, la densità neuronale è infatti comunque maggiore rispetto a quella dei mammiferi con massa cerebrale paragonabile. Questo dato è ancora più sorprendente per gli uccelli che mostrano le più spiccate capacità cognitive: corvidi e pappagalli hanno infatti una densità di neuroni per grammo di cervello quasi nove volte superiore a quella umana. Nel complesso, quindi, nonostante le piccole dimensioni cerebrali, negli uccelli il numero di cellule nervose non è inferiore ai mammiferi, in particolar modo nella regione del pallio, la parte telencefalica del cervello adibita all'elaborazione dei comportamenti più sofisticati. (AnRo)

Il buco dell'ozono si sta rimarginando

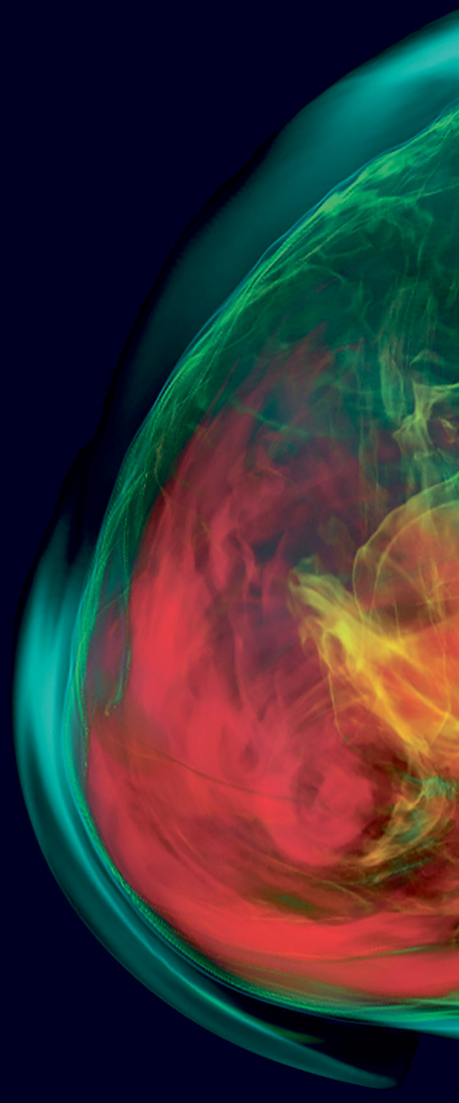
Sia pure lentamente, il buco dell'ozono che sovrasta l'Antartide si sta gradualmente rimarginando. La conclusione, pubblicata su «Science», è di ricercatori del MIT di Boston insieme a colleghi del National Centre for Atmospheric Research a Boulder e dell'Università di Leeds.
Lo strato di ozono nella stratosfera è fondamentale per filtrare i raggi ultravioletti diretti alla Terra e nocivi per la vita. Negli anni ottanta la sua progressiva riduzione portò alla ratifica del protocollo di Montreal nel quale gli



Stati si impegnavano a eliminare la produzione dei clorofluorocarburi (CFC), sostanze volatili comunemente usate in spray, frigoriferi e climatizzatori e ritenuti tra i principali responsabili del fenomeno.
Confrontando le concentrazioni di ozono misurate negli ultimi 15 anni con i livelli di cloro nella stratosfera, i ricercatori hanno calcolato che, rispetto al picco massimo del 2000, il buco dell'ozono si è ridotto di circa 4 milioni di chilometri quadrati. Nonostante alcune eruzioni vulcaniche abbiano rallentato il fenomeno, potenziando con le loro polveri sottili l'effetto del cloro oggi scarsamente presente nella stratosfera, il rimarginamento proseguirà fino alla completa scomparsa del buco. (DaMi)

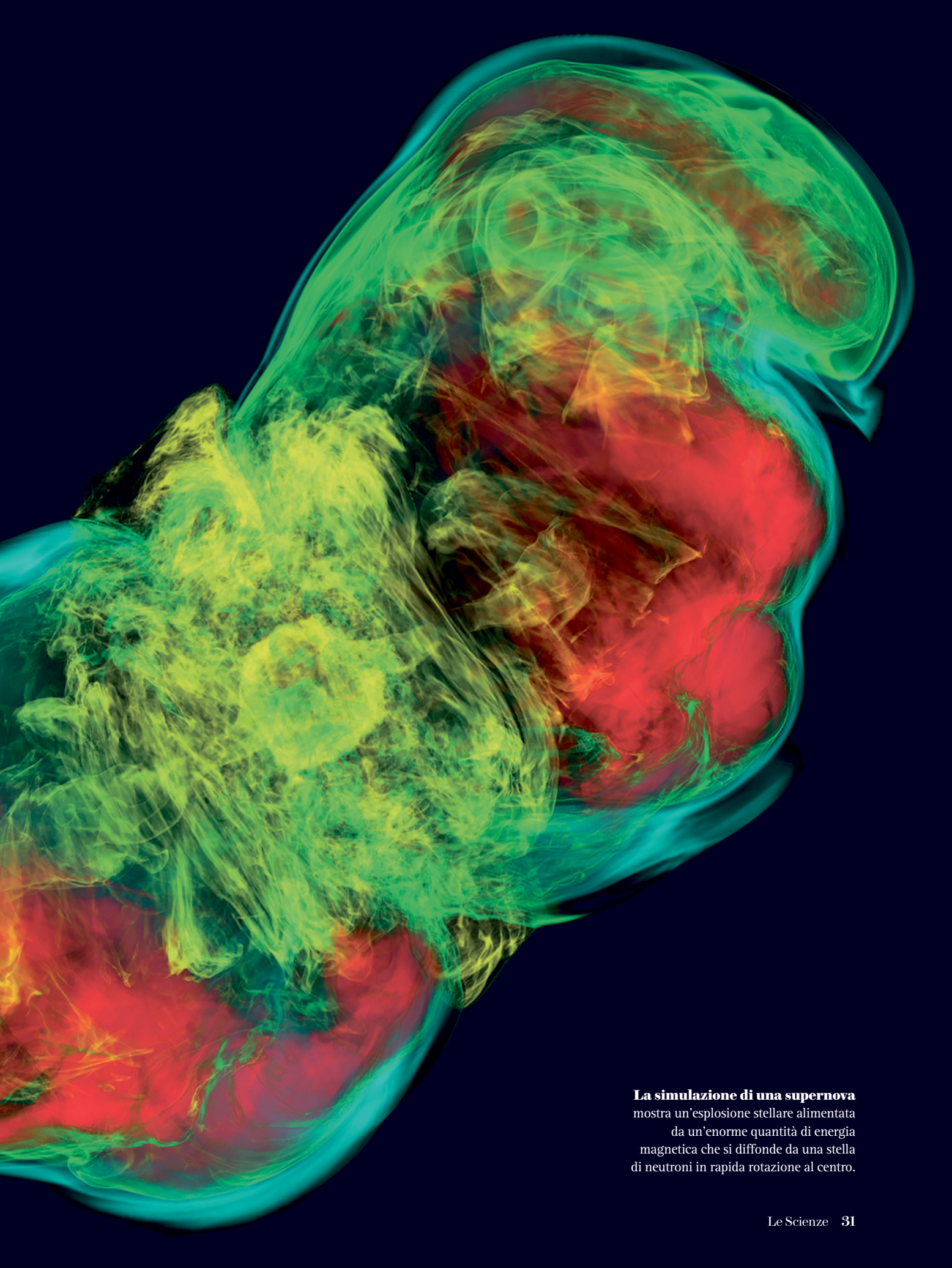
T. Bernold/Mona Lisa Prod./SPL/Contrasto (*termiti*); Ezra Bailey/Getty Images (*galline*); NASA (*globo*)

FUOCHI D'ARTIFICIO STELLARI



Ogni anno esplodono migliaia di stelle, in un bizzarro assortimento di modi diversi. Gli astronomi cercano di capire che cosa le scatena

di Daniel Kasen



La simulazione di una supernova mostra un'esplosione stellare alimentata da un'enorme quantità di energia magnetica che si diffonde da una stella di neutroni in rapida rotazione al centro.

Daniel Kasen è un astrofisico dell'Università della California a Berkeley e del Lawrence Berkeley National Laboratory. Le sue ricerche si concentrano sullo sviluppo di nuovi modelli teorici e informatici per spiegare i molti tipi di esplosioni stellari nell'universo.

Una volta al secondo circa, in qualche punto del nostro universo osservabile c'è un Sole che è distrutto da una catastrofe stellare: un astro che pulsa, collide, collassa in un buco nero o esplode come supernova. Questo aspetto dinamico dell'universo, che si perde nell'apparente calma del cielo notturno, è venuto di recente alla ribalta della ricerca astronomica.

Da quasi un secolo si cerca di ricostruire che cosa sia accaduto nel corso di miliardi di anni di evoluzione cosmica, ma solo di recente abbiamo cominciato a seguire gli eventi celesti sulla scala temporale dei giorni e delle ore, e in questo modo ad assistere alle vite instabili e alle morti delle stelle.

Sebbene in passato mancassero gli strumenti per studiare in dettaglio questi fenomeni, è da millenni che abbiamo prove della precarietà dell'universo, almeno fin dai tempi delle osservazioni cinesi, nel 1006 d.C., di una «stella temporanea» che divenne visibile a occhio nudo per poche settimane prima di sbiadire. Il grande astronomo Tycho Brahe registrò un evento simile nel 1572, come fece Johannes Kepler una trentina d'anni dopo. Adesso sappiamo che quei fenomeni erano esplosioni di stelle: supernove. Al loro culmine, le supernove possono essere più luminose di un miliardo di Soli, ma dato che si verificano per la maggior parte a distanze enormi da noi ci appaiono come fiochi punti luminosi, facili da ignorare nel vasto cielo.

Adesso la tecnologia moderna sta rivoluzionando lo studio dell'universo dinamico: i telescopi sono robotizzati e dotati di telecamere digitali ad alta risoluzione che trasmettono i dati a programmi di elaborazione e riconoscimento di immagini. Le macchine passano in rassegna in modo regolare ampie regioni del cielo, tenendo digitalmente d'occhio tutto quello che si muove nella notte. Nel corso dell'ultimo decennio queste moderne potenzialità tecnologiche hanno permesso agli astronomi di scoprire ogni anno migliaia di nuove esplosioni stellari: ogni settimana rileviamo tante nuove supernove quante ne erano state osservate nell'intero XX secolo.

Non solo registriamo più supernove, ma scopriamo anche nuovi fenomeni insoliti. Alcune esplosioni stellari hanno una luminosità mai vista, 100 volte maggiore delle normali supernove; altre sono 100 volte più fioche. Alcune sono di colore rosso scuro, altre ultraviolette. Alcune risplendono per anni; altre svaniscono nel giro di pochi giorni. Le morti stellari si rivelano ben più differenziate di quanto pensassimo.

Gli astronomi stanno ancora cercando di capire che cosa provochi queste strane esplosioni stellari, che ovviamente ci dicono qualcosa di importante sulla vita e sulla morte delle stelle e sulla fisica delle condizioni più estreme di temperatura, densità e gravità. Studiando l'intero repertorio delle supernove, speriamo di capire finalmente che cosa fa sì che le stelle vadano in pezzi e si trasformino in resti morti come i buchi neri.

Le supernove hanno anche qualcosa da insegnarci sulle nostre origini. Dopo il big bang l'universo conteneva per la maggior parte gli atomi più leggeri, ovvero idrogeno ed elio. Secondo la teoria, tutto il resto di quello che osserviamo – compresi il calcio che compone le nostre ossa e il ferro che fa parte del nostro sangue – è stato fuso ed espulso da stelle che sono esplose. In passato si riteneva che tutti gli elementi chimici più pesanti si fossero formati in supernove ordinarie, tuttavia ora la scoperta di tante esplosioni insolite fa ipotizzare che caselle differenti della tavola periodica possano avere origini diverse. Osservando un gran numero di diverse supernove, ci avviciniamo a comprendere come un assortimento di esplosioni stellari possa aver contribuito alla varietà di elementi che compongono il nostro pianeta e a tutta la vita che ospita.

IN BREVE

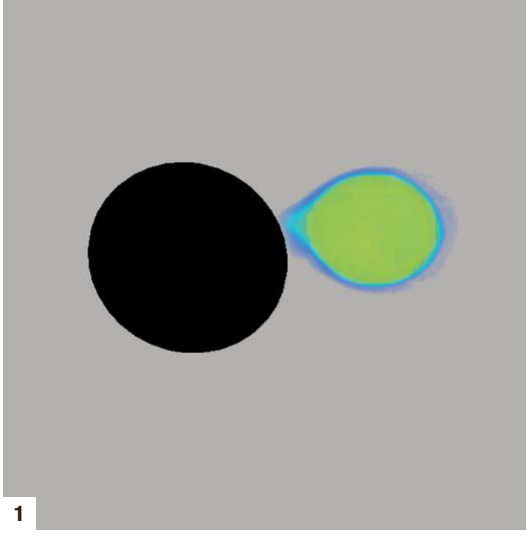
L'avvento dei telescopi automatizzati che passano in rassegna rapidamente il cielo ha rivelato un gran numero di supernove insolite, fra cui esplosioni stellari cento volte più luminose del normale e anche supernove inaspettatamente fioche, quasi impercettibili.

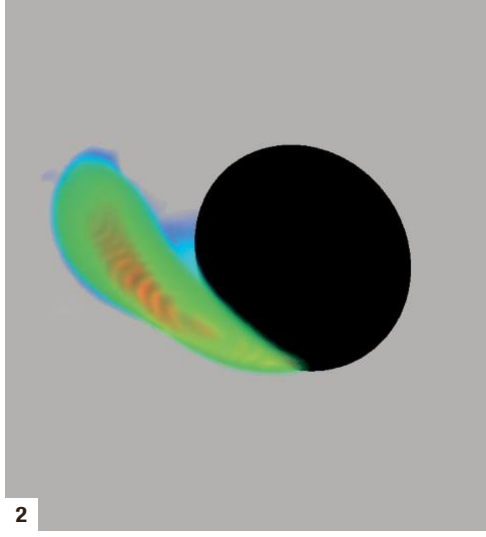
Ci sono varie teorie sui tipi di stelle che possono provocare questi eventi insoliti e sul modo in cui possono sintetizzare gli elementi chimici pesanti di cui sono composti il nostro pianeta e il nostro corpo.

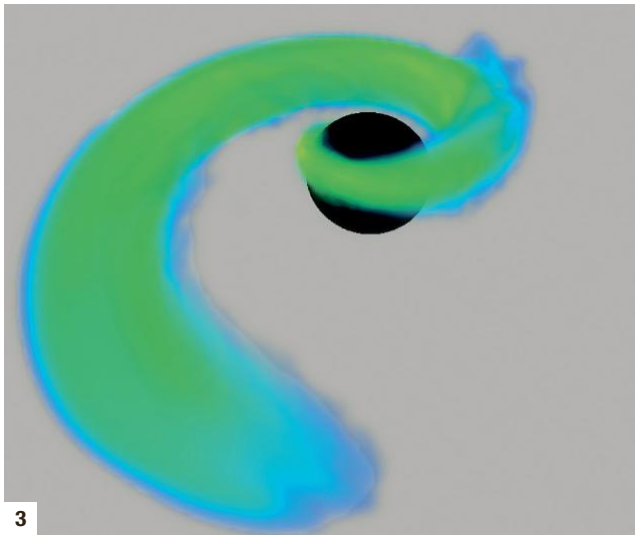
Osservazioni future dovrebbero contribuire a rispondere a molte domande fondamentali su vita e morte delle stelle e sul modo in cui influiscono sulla vita sulla Terra.

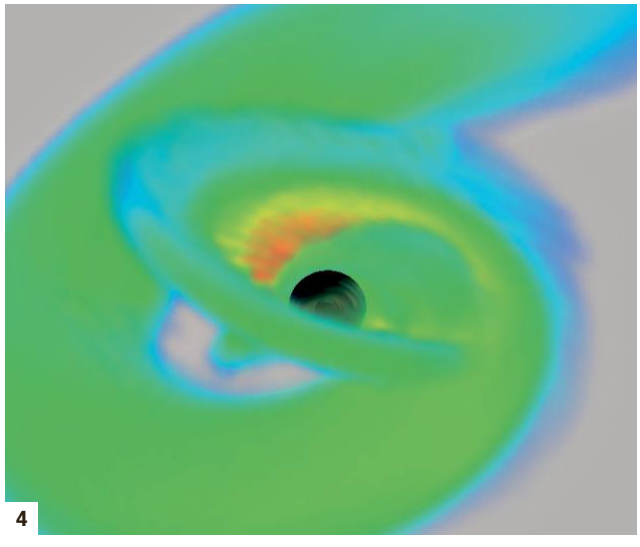
Cortesia Philipp Moesta, Università della California a Berkeley (*pagine precedenti*)

Una stella di neutroni (*in verde*) si fonde con un buco nero in una simulazione. Il processo è simile a quello che secondo le ipotesi degli scienziati avviene quando si uniscono due stelle di neutroni: è uno scenario che potrebbe spiegare insolite supernove assai poco luminose. Qui la stella di neutroni è deformata dalla gravità del buco nero (1 e 2) fino ad allungarsi e a formare una coda (3) avvolgendosi attorno al buco nero (4). In definitiva quasi tutta la stella di neutroni sarà ingoiata dal buco nero.


1


2


3


4

Catastrofi stellari

Per capire quanto siano strane alcune supernove che stiamo scoprendo, pensiamo prima a quelle più tipiche, che già di per sé sono fenomeni eccezionali. Una stella è un reattore nucleare stabile: un'enorme palla di plasma tenuta insieme dalla gravità e alimentata dalla fusione nucleare all'interno del suo nucleo compresso. Il calore provocato dalla fusione genera una pressione che bilancia la spinta verso l'interno dovuta alla gravità. L'esplosione di una supernova porta a un'instabilità catastrofica in questo equilibrio di forze: una vittoria travolgente della gravità sulle reazioni nucleari o viceversa.

Il tipo più comune di supernova si verifica in stelle di dimensioni non eccessive, con massa pari a dieci o più volte quella del nostro Sole. Queste stelle vivono per milioni di anni, nel corso dei quali fondono l'idrogeno in elementi via via più pesanti. Una volta raggiunto il ferro, che è essenzialmente la cenere delle reazioni nucleari, la fusione non può più proseguire. Senza questa pressione verso l'esterno il nucleo centrale della stella collassa sotto la forza di gravità e il suo volume si comprime fino a un milionesimo di quello originario, trasformandosi in una pepita ultradensa detta stella di neutroni, che contiene una massa maggiore di quella del Sole in una regione del diametro di pochi chilometri. L'enorme energia liberata da questa caduta libera distrugge il resto della stella.

Per farci un'idea delle energie sviluppate in una tipica esplosione di supernova, immaginiamo che il Sole bruci la sua intera riserva di idrogeno – che è sufficiente per sostenerlo per più di dieci miliardi di anni – nel giro di pochi secondi. Questa immane quantità di energia si può quantificare con un'unità di misura apposita: un bethe (dal nome del premio Nobel per la fisica Hans Bethe). Quando esplode una supernova, la temperatura interna della stella supera i 3 miliardi di gradi e scatena un fronte d'onda supersonico che lascia dietro di sé un caos di elementi pesanti fusi da poco, tra cui silicio, calcio, ferro e isotopi radioattivi di nichel, cobalto e titanio. Nel volgere di qualche minuto la stella esplode in una nube di cenere e resti radioattivi espulsi a 30 milioni di chilometri all'ora, qualche centesimo della velocità della luce.

Per fortuna il nostro Sole è troppo piccolo per diventare una supernova, ma se lo facesse il primo segno sulla Terra sarebbe un breve lampo di intesi raggi X che ucciderebbero tutta la vita sul nostro pianeta. In pochi minuti la nube di detriti della stella raddoppierebbe di dimensioni e diventerebbe circa 1000 volte più luminosa del Sole. Dopo qualche ora le ceneri solari avvolgerebbero la Terra, il giorno dopo anche Giove e Saturno e dopo alcune settimane le ceneri si diffonderebbero per tutto il sistema solare. A quel punto la nube di detriti sarebbe diventata finalmente semitrasparente e la luce racchiusa ne emergerebbe, raggiungendo, prima di sbiadire, un picco di luminosità di circa un miliardo di volte quella del Sole.

Gli astronomi non catturano quasi mai la breve esplosione di raggi X dell'esplosione di una supernova, e solo di rado si riesce a recuperare un'immagine archiviata della stella originale prima dell'evento. In genere ne osserviamo solo le conseguenze: quell'e-

Cortesia Francois Foucart Lawrence Berkeley National Laboratory e Università della California a Berkeley

norme nube in espansione di residui radioattivi che risplende visibilmente per settimane e più. Esaminando le ceneri cerchiamo di ricostruire la storia di quale tipo di stella sia andata distrutta e perché.

Stranamente luminosa

Nello zoo di supernove insolite scoperte di recente, le più spettacolari sono forse le esplosioni iperenergetiche – quelle che io chiamo ultranove – che hanno una luminosità oltre 100 volte più grande rispetto a quella delle normali supernovae. Sono le supernove più luminose e più lontane scoperte, visibili in buona parte dell'universo osservabile. Sono eventi estremamente rari: se ne verifica forse una ogni 1000 supernove normali. Gli astronomi non hanno prove definitive per spiegare come mai queste esplosioni siano così luminose, ma ci sono tre teorie principali. Forse una delle teorie spiega tutte o la maggior parte delle ultranove che osserviamo, ma è più probabile che si verifichino con una certa frequenza tutte e tre le possibilità.

SUPERNOVE «A COPPIE DI PARTICELLE». Molti, come è naturale, cercano un collegamento fra ultranove e stelle di massa particolarmente elevata. La teoria suggerisce che le stelle molto grandi abbiano in realtà un carattere molto delicato e siano sensibili a varie instabilità. In particolare il nucleo delle stelle con una massa tra 150 e 250 volte quella del Sole può diventare tanto caldo da generare una raffica di coppie particella-antiparticella (e precisamente elettroni e positroni). Produrre queste particelle costa energia, il che indebolisce la pressione verso l'esterno e fa sì che il nucleo, ancora carico di combustibile nucleare, collassi su se stesso. Il risultato sarebbe catastrofico: la compressione del nucleo accelererebbe la fusione nucleare mandandola fuori controllo e bruciando ogni cosa. L'improvviso rilascio di energia – dell'ordine dei 100 bethe – farebbe invertire il collasso ed esplodere completamente la stella. Non ne rimarrebbe nulla.

Sono le più immani esplosioni nucleari dell'universo, e produrrebbero nubi di residui 1000 volte più radioattive di quelle delle supernove ordinarie. Dato che presumibilmente queste nubi sono estremamente massicce e opache, la luce impiegherebbe un anno o più per uscirne; si presume quindi che i postumi di queste esplosioni siano particolarmente luminosi e duraturi. Alcune ultranove scoperte di recente hanno proprio queste proprietà, il che porta alcuni astronomi ad affermare che abbiamo osservato una stella gigante uccisa da un'infestazione di coppie di particelle microscopiche; altri dissentono, e sono dell'opinione che i dati si spieghino meglio con teorie diverse. Le osservazioni future di questi eventi luminosi e longevi ci riveleranno meglio, si spera, composizione e velocità della nube di resti stellari, in modo da dirci se effettivamente si verifica lo scenario previsto.

SUPERNOVE «FALSO ALLARME». Un'idea alternativa per spiegare le ultranove è che abbiano origine in stelle di massa lievemente inferiore (fra 70 e 150 masse solari). Si ritiene che queste stelle siano soggette a instabilità simili a quelle delle parenti con massa maggiore, ma le condizioni in genere non sono altrettanto estreme; dopo che la stella inizia ad accartocciarsi e a bruciare eccessivamente può tornare indietro, espandersi nuovamente, fermare le reazioni nucleari prima che diventino incontrollate e riprendere la normale esistenza. Mentre recupera l'equilibrio, però, la stella presumibilmente espelle buona parte dei suoi strati esterni, producendo un «impostore» di supernova, un'esplosione che somiglia a una fioca supernova ma è in realtà solo un'esperienza di pre-morte.

Le stelle all'interno di questo intervallo di masse possono attraversare diversi di questi singulti, perdendo ogni volta un po' più di materia, fino al momento in cui esauriscono il combustibile nucleare ed esplodono come normali supernove. Quando finalmente una di queste stelle muore, espelle i suoi resti in un ambiente già inquinato da strati di materiale lasciato dalle esplosioni precedenti. La violenta collisione fra la nube di resti della supernova e questi gusci dovrebbe produrre uno spettacolo pirotecnico luminosissimo che spiega forse alcune ultranove.

Di recente le osservazioni automatizzate hanno registrato gli ultimi frenetici anni della vita di una stella enorme. Nel 2009 gli astronomi hanno notato quella che sembrava una normale supernova, per quanto un po' fioca. Chiamata SN2009ip, è svanita nel giro di qualche settimana ed è stata dimenticata fino a quando, un anno dopo, sorprendendo tutti, è stata osservata nella stessa identica posizione un'altra «supernova» fioca. Evidentemente la stella non era ancora morta. Nel 2012 gli astronomi hanno osservato una terza esplosione e poi, un mese dopo, un'altra luminosissima.

Alcuni scienziati ritengono che il penultimo scoppio sia stata la vera morte della stella, mentre la luminosissima fiammata finale sarebbe stata provocata dai resti della supernova che speronavano il materiale dei sussulti precedenti. Altri pensano che la stella sia ancora viva e che continuerà a intrattenerci con ulteriori esplosioni. Ci vorranno alcuni anni affinché la polvere si diradi, ma per ora abbiamo osservato il tipo di instabilità violenta che riteniamo segni la fine di alcune stelle massicce.

SUPERNOVE «MAGNETICHE». Infine, una scuola di pensiero alternativa sulle ultranove afferma che la loro luminosità eccessiva non deriva tanto da una massa estrema quanto da una rotazione estrema. Le stelle che partono con più di dieci masse solari producono per lo più normali supernove che, morendo, formano stelle di neutroni. Se una stella così all'inizio ruota rapidamente, il collasso può far ruotare la stella di neutroni a velocità smodate, come un pattinatore artistico che ruota su se stesso e raccoglie le braccia per accelerare. In teoria una stella di neutroni può arrivare a 1000 rotazioni al secondo: se andasse ancora più veloce verrebbe dilaniata dalle forze centrifughe. L'energia cinetica contenuta in una trottola con una massa del genere è enorme: fino a dieci bethe.

Come potrebbe questa energia di rotazione dar vita a una supernova? Le stelle di neutroni hanno immensi campi magnetici che possono trasportare l'energia. Per capire in che modo, immaginiamo di far ruotare sulla mano un magnete per il frigorifero. Così facendo, deformiamo il campo magnetico che circonda il magnete; anche se non vediamo né sentiamo questo campo, una parte dell'energia che gli abbiamo fornito si propaga nello spazio sotto forma di onde elettromagnetiche. Riteniamo che lo stesso fenomeno si verifichi, su scala molto maggiore, attorno alle stelle di neutroni. L'esempio più convincente da un punto di vista visivo è quello della nebulosa del Granchio, i resti di una supernova di cui abbiamo notizie da astronomi cinesi nel 1054 d.C. Oggi la luce che vediamo provenire dalla nebulosa è alimentata da una stella di neutroni rotante che genera un vortice di plasma magnetizzato. Nel corso di 1000 anni il campo magnetico deformato ha estratto energia di rotazione dalla stella di neutroni e ha riscaldato il gas che la circonda dando vita allo spettacolo che ammiriamo.

Circa cinque anni fa io e il mio collega Lars Bildsten dell'Università della California a Santa Barbara abbiamo ipotizzato che una versione potenziata di questo fenomeno possa spiegare l'elevata luminosità delle ultranove. La stella di neutroni dovrebbe avere campi magnetici da 100 a 1000 volte più intensi di quel-

Lo zoo delle supernove

Ci sono molti più tipi di esplosioni di supernova, che segnalano la morte di una stella, di quanti ne pensassero gli scienziati. Osservazioni recenti hanno rivelato supernove 100 volte più luminose del solito ed eventi fiochi che emettono 100 volte meno luce della norma. I teorici hanno varie ipotesi sul tipo di stelle e di situazioni che provocano alcune di queste eruzioni insolite.

Normale
In una tipica supernova, il nucleo di una stella che ha 10 o più volte la massa del nostro Sole collassa fino a diventare un corpo denso detto stella di neutroni, e gli strati esterni esplodono in un'onda d'urto supersonica.

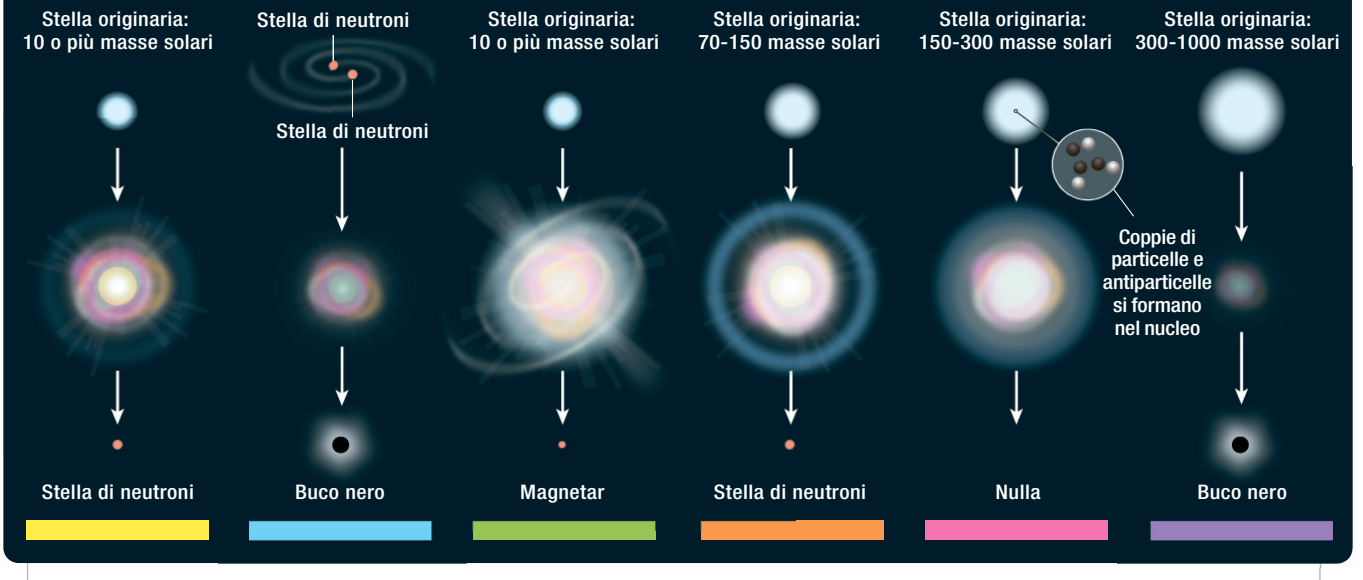
Collisione fra stelle di neutroni
Si ritiene che, quando due stelle di neutroni collidono, la maggior parte della loro massa formi un buco nero, ma una piccola parte potrebbe sfuggire e dar vita a una fioca «chilonova».

Magnetar
Il collasso di una stella in rapida rotazione può produrre una stella di neutroni altamente magnetizzata, detta magnetar, che attinge all'energia di rotazione per alimentare una supernova ultraluminosa.

Falso allarme
Una stella può cominciare a diventare una supernova ma poi ritrovare l'equilibrio, limitandosi a espellere alcuni strati esterni. Quando infine esplode, i resti colpiscono gli strati espulsi in precedenza e creano un bagliore luminosissimo.

Coppie di particelle
Nei nuclei roventi di stelle molto grandi si possono formare coppie di particelle di materia e antimateria che generano un'esplosione prematura. L'energia distruggerebbe la stella e preverrebbe la formazione di un buco nero.

Collasso completo
Le stelle con la massa più elevata possono produrre forse un sussurro invece di un'esplosione, perché la loro gravità estrema ne attirerebbe quasi tutta la massa in un oggetto più denso di una stella di neutroni: un buco nero.



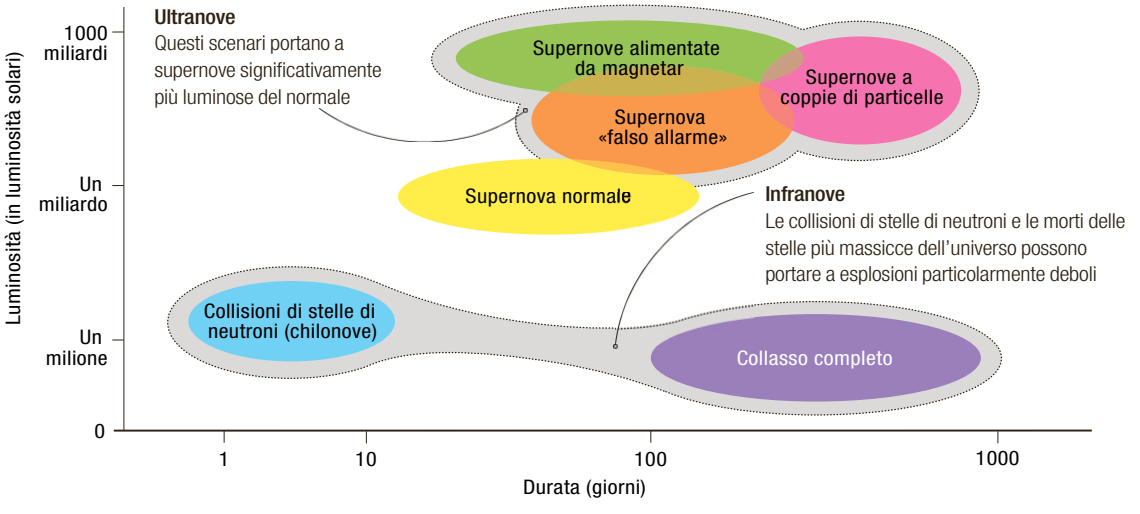
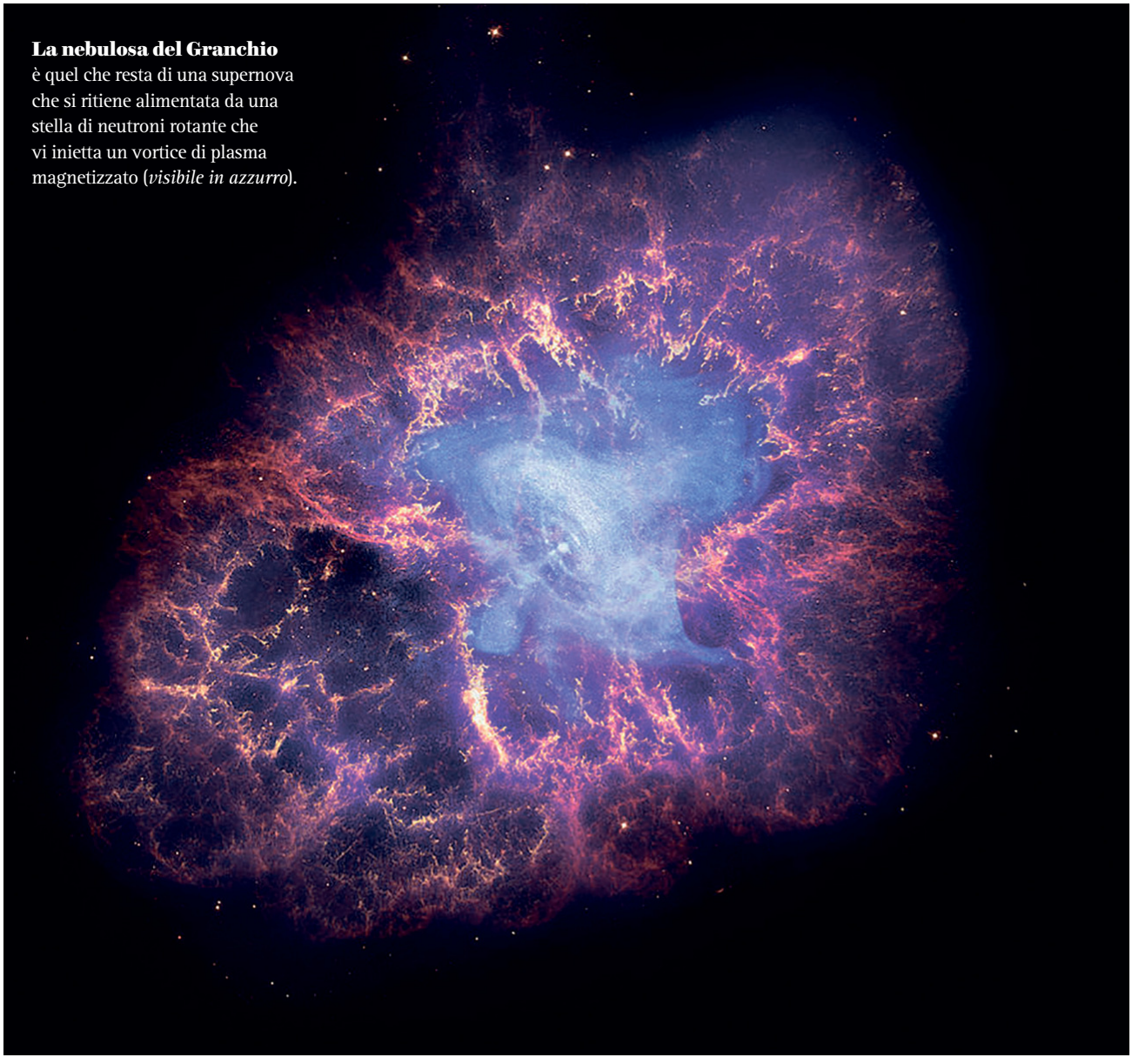


Illustrazione di Jen Christiansen



La nebulosa del Granchio è quel che resta di una supernova che si ritiene alimentata da una stella di neutroni rotante che vi inietta un vortice di plasma magnetizzato (*visibile in azzurro*).

lo della nebulosa del Granchio e ruotare quasi alla velocità limite di rottura. Per una stella del genere quasi tutta l'energia di rotazione si esaurirebbe nel giro di un mese, e la nube di detriti della supernova risplenderebbe un milione di volte più della nebulosa del Granchio. Sebbene questi numeri possano suonare estremi, sono già state osservate stelle di neutroni con campi magnetici confrontabili (ma ancora nessuna allo stadio di supernova). Sono chiamate magnetar, e sono dotate dei campi magnetici più intensi conosciuti nell'universo. Le ultranove quindi a volte possono segnalare la nascita di una magnetar in rapida rotazione e provocarne il rallentamento.

Inaspettatamente fioche

All'estremo opposto dello spettro rispetto alle ultranove, sono state scoperte di recente anche supernove particolarmente deboli: le ricognizioni più ampie hanno osservato supernove insolite, 100 volte più fioche di quelle usuali. Gli scienziati dibattono su che cosa provochi queste esplosioni tenui, ma sospettano che alcune siano, sorprendentemente, gli ultimi singulti soffocati delle stelle più pesanti mai vissute.

SUPERNOVE FALLITE. Non è chiaro a che massa possa arrivare una stella, ma è concepibile che alcune possano avere da 300 a 1000 volte la massa del Sole (più grandi di quelle già pesanti che riteniamo possano esplodere a causa delle coppie di particelle). Si potrebbe pensare che questi mammut producano supernove con le esplosioni più spettacolari fra tutte, mentre invece probabilmente fanno cilecca. La gravità di una stella del genere è tanto elevata che appena diventa instabile è inevitabile il collasso completo. La caduta verso l'interno squarcia lo spazio-tempo, generando qualcosa di più denso di una stella di neutroni: un buco nero.

I modelli teorici mostrano che il grosso della stella sarà fagocitato dal buco nero e sparirà improvvisamente: questo non-evento ipotetico è stato chiamato «non-nova». Le rilevazioni automatizzate cercano le non-nove procedendo all'indietro, non cercando una luce improvvisa nel cielo, ma una stella luminosa che si spegne in un istante.

Cortesia NASA/CXC/SAO/F. Seward (*composizione*); cortesia NASA/ESA/ASU/J. Hester e A. Loll (*ottica*); NASA/JPL-Caltech/Università del Minnesota/R. Gehrz (*infrarosso*)

Anche se non esplodono, alcune di queste stelle che generano buchi neri riescono almeno a emettere un sussurro. Il nucleo di certe stelle giganti è circondato da un alone rado e rigonfio di idrogeno. Mentre il grosso della stella viene risucchiato al di là dell'orizzonte del buco nero, l'alone di gas può riscaldarsi e disperdersi, generando un fioco chiarore. La morte di una stella enorme produrrebbe quindi, paradossalmente, una supernova particolarmente debole e fioca.

STELLE DI NEUTRONI IN COLLISIONE. Un altro tipo di eruzione poco luminosa potrebbe derivare da una categoria molto diversa di eventi estremi: la collisione di due stelle di neutroni. Le stelle con massa elevata nascono spesso in coppia, e orbitano l'una attorno all'altra; diventano supernove in tempi ravvicinati e, se i due astri non schizzano lontani, quello che resta è un sistema binario di stelle di neutroni (o una stella di neutroni e un buco nero, o due buchi neri). Nel corso del tempo i due oggetti compatti si avvicinano sempre di più ruotando a spirale, fino a collidere e a unirsi in un buco nero più grande. Questo processo è stato confermato di recente dalla scoperta delle onde gravitazionali prodotte dalla fusione tra due buchi neri. I calcoli suggeriscono che quando due stelle di neutroni si uniscono le forze gravitazionali estreme (circa 10 miliardi di volte l'attrazione gravitazionale della Terra sul nostro corpo) siano tanto intense da strappare via circa un centesimo della superficie della stella e scagliarlo nello spazio (il rimanente 99 per cento forma il buco nero).

La morte di una stella enorme produrrebbe una supernova particolarmente fioca

Questo frammento di materiale che sfugge al buco nero è formato verosimilmente da materia insolita: un mare vaporizzato di particelle separate, per lo più neutroni, insieme a qualche protone ed elettrone. Via via che il gas si dilata, le particelle dovrebbero cominciare a legarsi e a formare nuclei più pesanti. I protoni si respingono tra loro per via della comune carica positiva, ma i neutroni sono privi di carica e si uniscono più facilmente ad altre particelle. Con l'aggiunta progressiva di neutroni, i nuclei diventano sempre più pesanti e generano una pioggia di elementi della metà inferiore della tavola periodica, come oro, platino e mercurio, mescolati in un ambiente di residui radioattivi assortiti, tra cui uranio e torio. Le collisioni fra stelle di neutroni sono uno dei pochi posti dell'universo in cui, secondo gli scienziati, possono essersi formati questi elementi pesanti.

L'abbondanza di materiale radioattivo dovrebbe far sì che la nube di detriti risplenda come una supernova, ma considerando la massa relativamente ridotta (meno dell'1 per cento di quella di una supernova), ci aspettiamo che la luce sia circa 100 volte più fioca di una normale supernova e che duri solo per pochi giorni. Recenti studi teorici che ho effettuato insieme alla mia dottoranda Jennifer Barnes, dell'Università della California a Berkeley, fanno ritenere che la composizione dei metalli pesanti delle nubi di questo tipo debba conferire alla luminosità un colore caratteristico, rosso scuro o infrarosso. Questo fenomeno è stato battezzato «chilonova».

Di recente gli astronomi potrebbero aver osservato per la prima volta questo «fumo» rosso radioattivo da una collisione fra stelle di neutroni. A giugno 2013 una breve raffica di raggi gamma ha attirato l'attenzione degli astronomi su una possibile fusione non lontana di stelle di neutroni. Puntando verso quel punto lo Hubble Space Telescope, gli scienziati hanno colto un breve bagliore infrarosso, che è scomparso nel giro di poche settimane. I dati sono scarsi, ma coerenti con le previsioni teoriche dell'aspetto che dovrebbe avere una chilonova. Se questa identificazione è corretta, è la prima volta che abbiamo assistito direttamente alla produzione di preziosi metalli pesanti. Speriamo di avere occasione di assistere ad altri eventi simili per determinare meglio quanto metallo è sintetizzato da queste esplosioni e se possono rendere conto completamente o solo in parte dell'abbondanza di oro, platino e altri metalli pesanti dell'universo.

Cosmo caotico

Il nostro studio dell'universo dinamico è appena agli inizi. Nel giro di dieci anni o giù di lì nuovi telescopi automatizzati, come la Zwicky Transient Facility che sta per entrare in funzione vicino a San Diego, in California, il Large Synoptic Survey Telescope in costruzione in Cile e il Wide-Field Infrared Survey Telescope che la NASA prevede di lanciare nello spazio, saranno in grado di passare in rassegna buona parte del cielo in poche notti, scoprendo un numero di supernove centinaia di volte maggiore rispetto a quello attuale. Nel frattempo i supercomputer potranno effettuare simulazioni tridimensionali dettagliate di questi eventi, permettendoci di visualizzare quello che dovrebbe accadere nelle profondità dei nuclei delle stelle che esplodono.

I dati raccolti nei prossimi anni metteranno alla prova le nostre teorie sui molti tipi di morti stellari: ognuno degli scenari presentati qui è plausibile dal punto di vista della fisica ma non è stato provato, e con più osservazioni di supernove insolite speriamo di capire quali di queste possibilità esplosive si verificano in natura. Il risultato più probabile è che l'universo si rivelerà più strano di quanto immaginiamo e mostrerà fenomeni ancora più esotici di quelli che abbiamo ipotizzato finora.

In definitiva avremo anche un quadro più ricco del materiale che forma i nostri corpi e il mondo che ci circonda. L'anello d'oro che portiamo al dito, per esempio, ha una storia che risale a ben prima dei nostri antenati. Il metallo presumibilmente nacque fluttuando nella fornace di ferro di una stella enorme che perse colpi, collassò e si compresse fino a diventare una densa stella di neutroni. Moltissimo tempo dopo, qualcosa come un miliardo di anni, la stella di neutroni collise forse con un'altra stella compatta, liberando nello spazio una nube di resti radioattivi che, spostandosi a 100 milioni di chilometri all'ora, avrà percorso più di 1000 anni luce attraverso la galassia, mischiandosi con altri gas lungo la strada, fino a depositarsi sulla crosta del pianeta Terra. Qualche tempo dopo, esseri umani scavarono dal terreno quei detriti stellari, li plasmarono ad anello e cominciarono a raccontare storie. ■

PER APPROFONDIRE

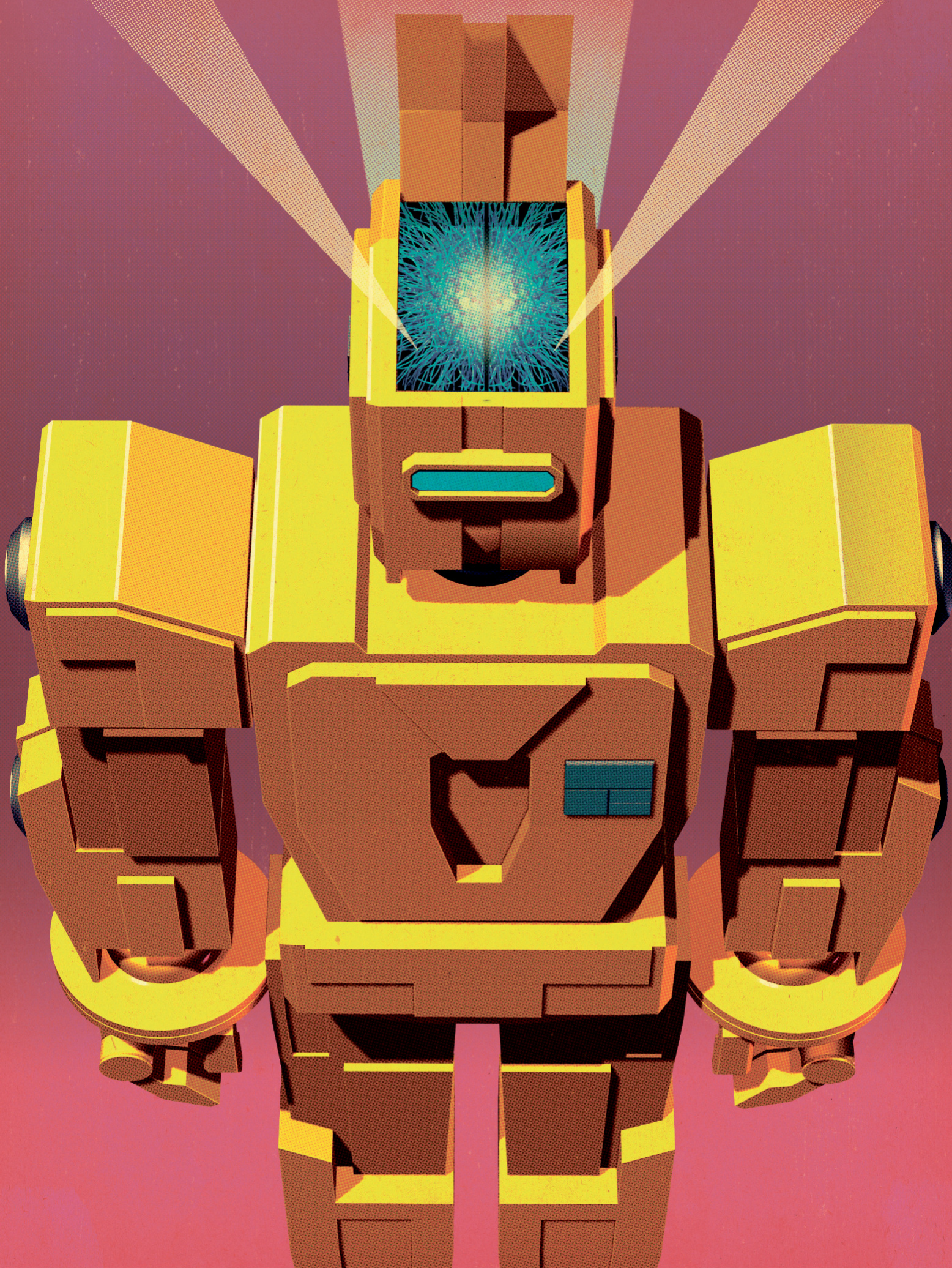
Supernova Light Curves Powered by Young Magnetars. Kasen D. e Bildsten L., in «Astrophysical Journal», Vol. 717, n. 1, pp. 245-249, 1° luglio 2010.

The Unprecedented 2012 Outburst of SN 2009ip: A Luminous Blue Variable Star Becomes a True Supernova. Mauerhan J.C. e altri, in «Monthly Notices of the Royal Astronomical Society», Vol. 430, n. 3, pp. 1801-1810, 11 aprile 2013.

Effect of a High Opacity on the Light Curves of Radioactively Powered Transients from Compact Object Mergers. Barnes J. e Kasen D., in «Astrophysical Journal», Vol. 775, n. 1, articolo n. 18, 20 settembre 2013.

Catastrofisica: quando esplode una stella. Hillebrandt W., Janka H.-T., Miller E., «Le Scienze» n. 460, dicembre 2006.

Super Supernove. Gal-Yam A., in «Le Scienze» n. 528, agosto 2012.



L'ALBA dell'IA

SPECIALE INTELLIGENZA ARTIFICIALE

La promessa di automobili a guida autonoma e programmi che imparano da soli nuove capacità ha rilanciato l'interesse per l'intelligenza artificiale e allo stesso tempo la paura che un giorno le nostre macchine possano rivoltarsi contro di noi

Illustrazioni di Tavis Coburn

COMPUTER SCIENCE

Macchine che imparano

Dopo tanti anni di delusioni, l'intelligenza artificiale comincia a mantenere le promesse, grazie a una tecnica di apprendimento chiamata deep learning

di Yoshua Bengio

I computer suscitarono grandi entusiasmi negli anni cinquanta, quando iniziarono a battere gli esseri umani a dama e a risolvere problemi algebrici espressi a parole. Negli anni sessanta crebbe la speranza che gli scienziati potessero in breve replicare il cervello umano con *hardware* e programmi, e che presto «l'intelligenza artificiale» avrebbe eguagliato le prestazioni umane in tutti i campi. Nel 1967 Marvin Minsky, del Massachusetts Institute of Technology, scomparso quest'anno, proclamò che la sfida dell'intelligenza artificiale sarebbe stata risolta entro una generazione.

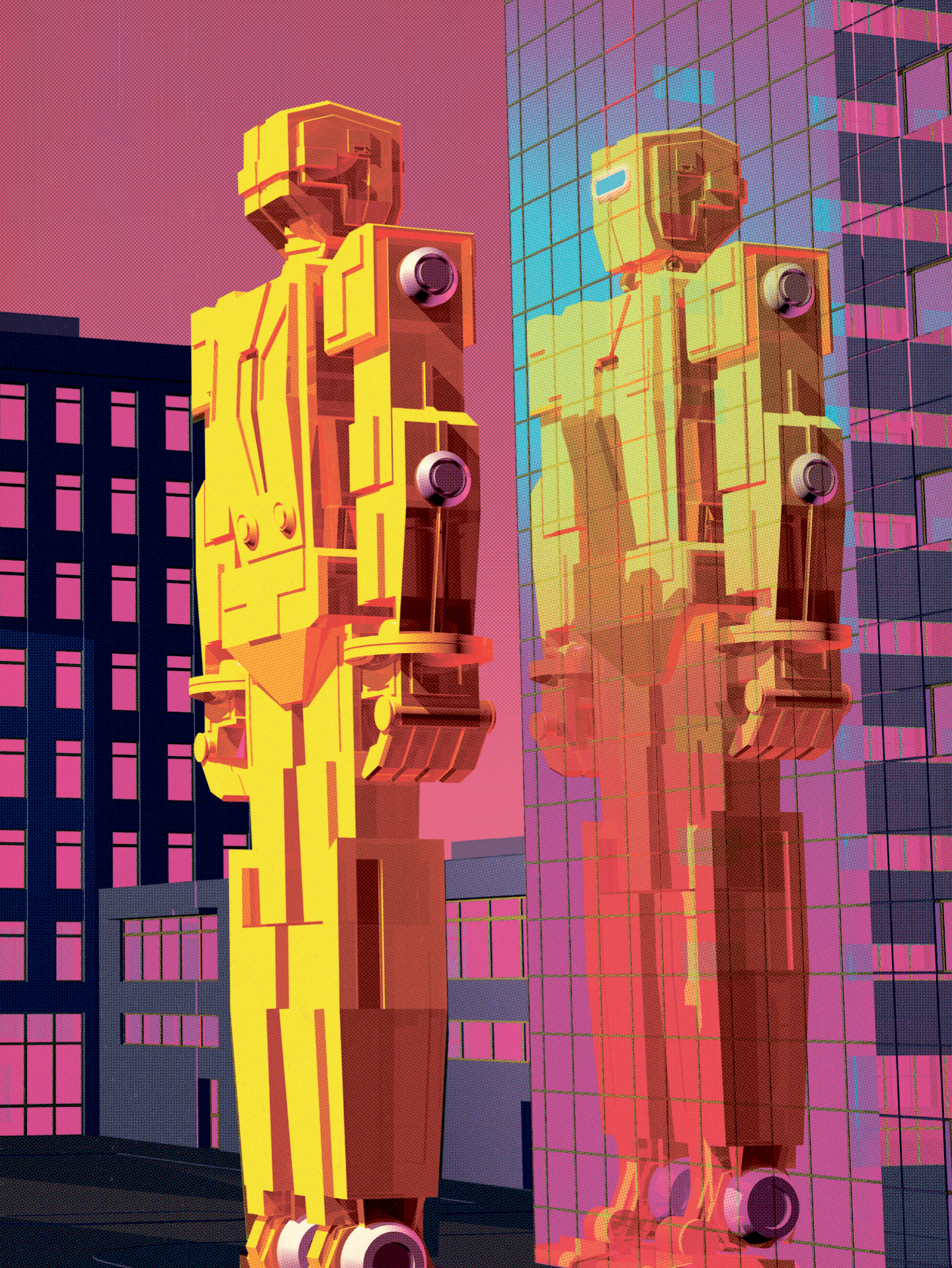
IN BREVE

Come serio campo di studi, l'intelligenza artificiale è nata a metà degli anni cinquanta. A quel tempo i ricercatori si aspettavano di emulare l'intelligenza umana nell'arco di una carriera accademica.

Le speranze sono naufragate quando è stato chiaro che algoritmi e potenza di calcolo dell'epoca non erano all'altezza del compito. Alcuni scettici, anzi, liquidarono l'impresa come arrogante.

Da qualche anno si è avuta una ripresa grazie a programmi modellati sulle reti dei neuroni cerebrali che hanno dimostrato che le vecchie promesse dell'intelligenza artificiale potrebbero ancora realizzarsi.

Le tecniche di apprendimento profondo, che usano complesse reti neurali, permettono di acquisire concetti astratti, e per alcuni compiti si avvicinano già a prestazioni di livello umano.



Yoshua Bengio, professore di *computer science* all'Università di Montreal, è fra i pionieri dello sviluppo dei metodi di apprendimento profondo che hanno riacceso l'interesse per l'intelligenza artificiale.

L'ottimismo si è rivelato prematuro. Programmi progettati per aiutare i medici a fare diagnosi migliori e reti modellate sul cervello umano per riconoscere il contenuto delle fotografie non sono stati all'altezza delle attese iniziali. Gli algoritmi di quei primi tempi mancavano di raffinatezza e avevano bisogno di più dati rispetto a quelli disponibili all'epoca. E anche le capacità di elaborazione dei computer non erano sufficienti ad alimentare macchine che potessero eseguire i cospicui calcoli necessari per avvicinarsi a qualcosa di simile alla complessità del pensiero umano.

Una decina d'anni fa nella comunità scientifica il sogno di costruire macchine con intelligenza di livello umano era ormai quasi svanito. Lo stesso termine «intelligenza artificiale» (o AI, da *artificial intelligence*) sembrava uscito al campo scientifico vero e proprio. Ricercatori e scrittori descrivono le speranze deluse del periodo fra gli anni settanta e la metà degli anni duemila come un susseguirsi di lunghi e freddi inverni dell'intelligenza artificiale.

Ma un decennio ha fatto la differenza. Dal 2005 le prospettive dell'AI sono cambiate in modo spettacolare; è successo quando le tecniche di *deep learning* (apprendimento profondo), un approccio alla realizzazione di macchine intelligenti che si ispira alle scienze del cervello, hanno iniziato a diventare efficaci. In anni recenti questo approccio ha dato una specifica spinta propulsiva alla ricerca sull'intelligenza artificiale. E i colossi dell'informatica finanziano con miliardi di dollari il suo sviluppo.

Deep learning vuol dire simulare reti di neuroni che «imparano» per gradi a riconoscere immagini, a capire il linguaggio parlato o addirittura a prendere decisioni da sole. Alla base di queste tecniche ci sono le reti neurali artificiali, un elemento chiave dell'attuale ricerca sull'AI. Le reti neurali artificiali non mimano precisamente l'effettivo funzionamento dei neuroni, ma partono da principi matematici generali per arrivare a riconoscere persone oppure oggetti nelle fotografie, o a tradurre le principali lingue del mondo.

La tecnologia del deep learning ha trasformato la ricerca sull'AI, rivitalizzando tante ambizioni perdute per visione computerizzata, riconoscimento vocale, elaborazione del linguaggio naturale e robotica. I primi prodotti sono stati presentati nel 2012 e riguardavano la comprensione del parlato; molti conoscono Google Now. Poco dopo sono arrivate le applicazioni per identificare il contenuto delle immagini, una possibilità oggi incorporata nel motore di ricerca Google Photos.

Chiunque abbia vissuto le frustrazioni dovute alla scomodità dei menu dei telefonini può apprezzare il grande vantaggio di avere un buon assistente personale sullo smartphone. E per chi ricorda i limiti del riconoscimento degli oggetti solo qualche anno fa – programmi che scambiavano aspirapolvere per armadilli – il balzo in avanti della visione computerizzata ha dell'incredibile: ora abbiamo computer che, in certe condizioni, riconoscono un gatto, una roccia o un viso quasi altrettanto bene di un essere umano. I programmi di AI, nei fatti, sono ormai entrati stabilmente nella vita di milioni di utenti di smartphone. I messaggi, per esempio, io ormai li scrivo solo di rado. Mi basta parlare con il telefono; e qualche volta addirittura mi risponde.

Questi progressi hanno spalancato di colpo la porta a un'ulteriore commercializzazione di questa tecnologia, e l'entusiasmo non fa che crescere. Le aziende competono per i talenti, e i Ph.D. specializzati in deep learning sono merce rara ed estremamente richiesta. Molti professori universitari con competenze in quest'area – la maggioranza, secondo alcuni – sono passati dal mondo accademico a quello privato, con tanto di strutture di ricerca ben attrezzate e forti pacchetti retributivi.

Il lavoro dedicato alle sfide dell'apprendimento profondo ha portato a successi stupefacenti. Il trionfo di una rete neurale sul più forte giocatore di Go, Lee Se-dol, è finito nelle prime pagine di tutto il mondo. E le applicazioni si stanno già allargando a coprire altri aspetti delle umane capacità e competenze, non solo giochi. Un algoritmo di apprendimento profondo sviluppato da poco sarebbe in grado di diagnosticare insufficienze cardiache da immagini in risonanza magnetica proprio come un cardiologo.

Intelligenza, conoscenze e apprendimento

Perché nei decenni precedenti l'intelligenza artificiale si è scontrata con tanti ostacoli? La ragione è che la maggior parte della conoscenza che abbiamo del mondo intorno a noi non è formalizzata in un linguaggio scritto come una successione di compiti espliciti, che è invece una necessità nella scrittura di programmi per computer. Per questo non siamo riusciti a programmare i computer affinché facciano molte cose che per noi sono facili, come capire discorsi, immagini e lingue, o guidare una macchina. I tentativi – organizzare insiemi di fatti in banche dati accurate per infondere ai computer qualcosa di simile all'intelligenza – hanno avuto scarso successo.

È qui che entra in gioco l'apprendimento profondo, che fa parte della più ampia branca dell'intelligenza artificiale detta apprendimento automatico (o *machine learning*), basata su una serie di principi usati per addestrare sistemi computerizzati intelligenti e infine arrivare a macchine che imparino da sole. Uno di questi cardini riguarda quali decisioni un essere umano o una macchina possa considerare «buone». Per gli animali, i principi evoluzionistici ordinano che le decisioni debbano portare a comportamenti che ottimizzano le possibilità di sopravvivenza e riproduzione. Nelle società umane, una buona decisione potrebbe implicare interazioni sociali che danno status o fanno stare bene. Per una macchina, come un'automobile senza guidatore, la qualità dei processi decisionali dipende dalla capacità del veicolo autonomo di imitare i comportamenti di un buon guidatore umano.

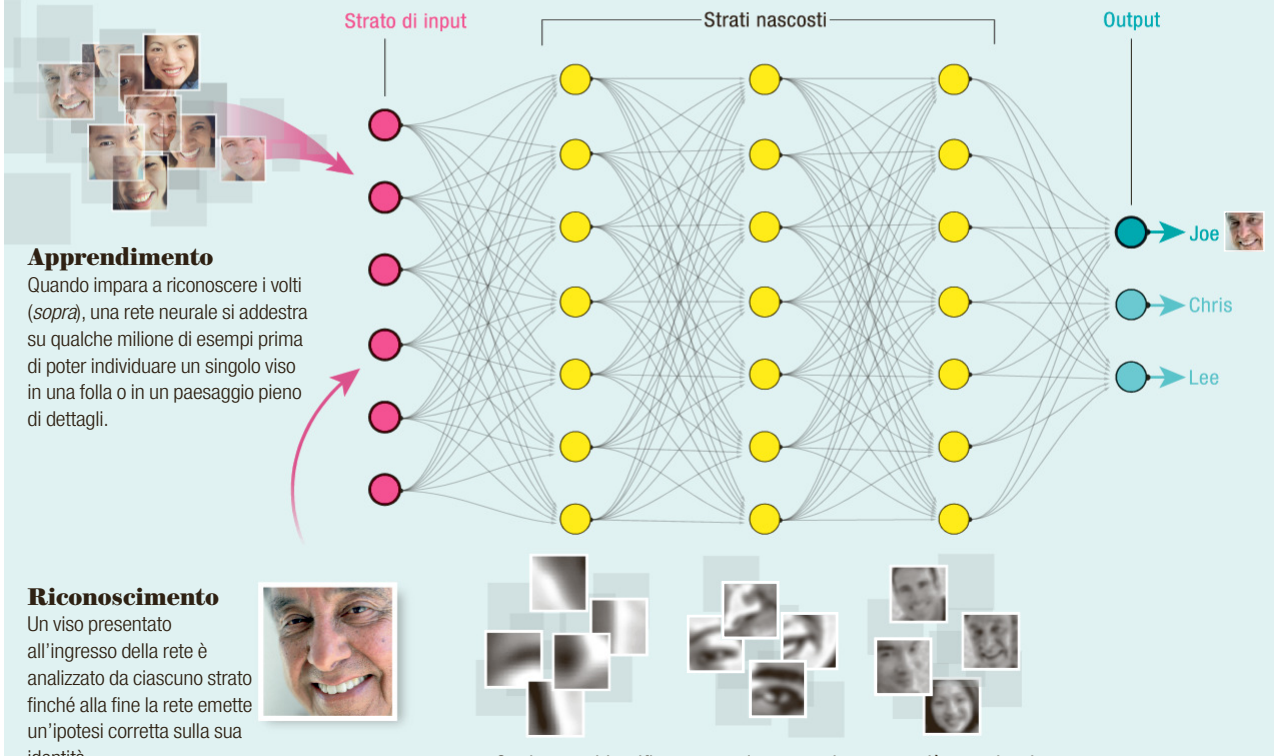
Le conoscenze indispensabili per fare una buona scelta in un particolare contesto non sono necessariamente chiare in un modo che sia traducibile in codici per computer. Un topo, per esempio, conosce l'ambiente circostante e ha un senso innato di dove annusare, di come muovere le zampe, trovare cibo o partner, ed evitare i predatori. Nessun programmatore sarebbe capace di specificare passo dopo passo un programma che generi questi comportamenti. Eppure queste conoscenze sono codificate nel cervello dell'animale.

Prima di costruire computer capaci di addestrarsi da soli, gli informatici dovevano rispondere a domande di fondo, per esempio a come gli esseri umani acquisiscono conoscenze. Alcune conoscenze sono innate, ma la maggior parte sono apprese con l'esperienza. Quello che sappiamo intuitivamente non può essere tradotto in una chiara sequenza di passi eseguibili un computer, ma spesso può essere appreso con esempi ed esercizio. Fin dagli an-

Reti intelligenti, e sempre più abili

Le connessioni tra i neuroni della corteccia cerebrale hanno ispirato l'elaborazione di algoritmi che imitano questi intricati collegamenti. Una rete neurale è addestrata a riconoscere volti fornendole un gran numero di immagini da esaminare. Una volta che ha «imparato» a categorizzare le facce (distinguendole, per esempio, dalle mani) e a individuare i volti, la rete usa queste conoscenze per identificare le facce già viste, anche in immagini della stessa persona lievemente diverse da quella usata nell'addestramento.

Per riconoscere un volto, la rete parte da un'analisi dei singoli pixel di un'immagine presentata allo strato di ingresso (input). Poi riconosce gli schemi geometrici caratteristici di un particolare viso. Salendo nella scala gerarchica, uno strato intermedio individua occhi, bocca e altri lineamenti del viso, finché non emerge un'immagine composita in uno strato superiore. Nello strato di uscita (output) la rete ipotizza che la faccia sia quella di «Joe» oppure di «Chris» o di «Lee».



Apprendimento
Quando impara a riconoscere i volti (*sopra*), una rete neurale si addestra su qualche milione di esempi prima di poter individuare un singolo viso in una folla o in un paesaggio pieno di dettagli.

Riconoscimento
Un viso presentato all'ingresso della rete è analizzato da ciascuno strato finché alla fine la rete emette un'ipotesi corretta sulla sua identità.

Ogni strato identifica caratteri progressivamente più complessi

Grafica di Jen Christensen; Punchstock (*volti*)

ni cinquanta i ricercatori hanno tentato di affinare principi generali grazie ai quali animali ed esseri umani – o anche le macchine – possono acquisire conoscenze con l'esperienza. L'apprendimento automatico mira a stabilire procedure – algoritmi di apprendimento – che permettono a una macchina di imparare dagli esempi proposti.

Questa scienza è in larga misura sperimentale, perché non c'è un algoritmo di apprendimento universale: nessun algoritmo può abilitare un computer a imparare bene ogni compito dato. Ogni algoritmo di acquisizione di conoscenze va testato su compiti di apprendimento e dati specifici per una situazione, che si tratti di riconoscere tramonti o di tradurre dall'inglese in urdu. Non c'è modo di dimostrare che un certo algoritmo sarà costantemente migliore, in tutti i sensi e per ogni data situazione, di tutti gli altri.

I ricercatori nel settore dell'intelligenza artificiale hanno dato una descrizione matematica formale di questo principio – il cosiddetto teorema *no free lunch* [non esiste pasto gratis, N.d.T.] – che dimostra che non c'è un algoritmo che vada bene per tutte le situazioni di apprendimento del mondo reale. Eppure il comportamento umano sembra contraddire questo teorema. Sembra che in testa abbiamo capacità di apprendimento generali che ci permettono di padroneggiare una moltitudine di compiti per cui l'evoluzione non ha preparato i nostri antenati: giocare a scacchi, costruire ponti, fare ricerca sull'AI.

Queste competenze fanno pensare che l'intelligenza umana sfrutti ipotesi generali sul mondo che potrebbero servire da ispirazione per realizzare macchine con una forma di intelligenza generale. Proprio per questo gli sviluppatori di reti neurali hanno adottato il cervello come modello di massima per progettare sistemi intelligenti.

Le principali unità computazionali del cervello sono i neuroni. Ogni neurone invia segnali ad altri neuroni attraverso minuscoli spazi tra le cellule, le fessure sinaptiche. La propensione di un neurone a inviare un segnale – l'ampiezza del segnale – a un altro neurone attraverso la fenditura è detta forza della sinapsi. Via via che un neurone «apprende», la forza della sinapsi aumenta, ed è più probabile che trasmetta messaggi ai neuroni vicini quando è stimolato da un impulso elettrico.

Lo studio del cervello ha influito sulla comparsa di reti neurali artificiali che usavano programmi o hardware per realizzare

Il futuro che ci aspetta, secondo Tomaso Poggio

di Riccardo Oldani

Capire il funzionamento del nostro cervello è una delle principali sfide che si pongono di fronte alla scienza di questo secolo, se non la più importante. A esserne convinto non è un neuroscienziato, ma un fisico e informatico italiano, Tomaso Poggio, uno tra i più importanti studiosi a occuparsi di apprendimento delle macchine e di intelligenza artificiale. Lo abbiamo incontrato a Sestri Levante, in occasione di un convegno internazionale sull'intelligenza artificiale organizzato in collaborazione dal Massachusetts Institute of Technology (MIT) di Boston e dall'Istituto italiano di tecnologia.

Poggio lavora al MIT da 33 anni e dirige il Center for Brains, Minds and Machines. L'obiettivo di questa struttura è capire come funziona l'intelligenza umana e definire i meccanismi della cognizione per poi trasferirli e applicarli alle macchine. Un lavoro complesso, basato sulla convinzione che l'intelligenza umana consista essenzialmente nella facilità di imparare e che questa, a sua volta, si fondi sulla capacità di generalizzare: un bambino non ha bisogno che, ogni volta che vede un cane, i genitori gli spieghino quale animale sia. Dopo tre o quattro volte che incontra un quadrupede che abbaia è in grado di distinguerlo da gatti, pecore o uccelli. Questo, invece, non avviene ancora per i robot o per le macchine «intelligenti», a cui va spiegato tutto nel dettaglio.

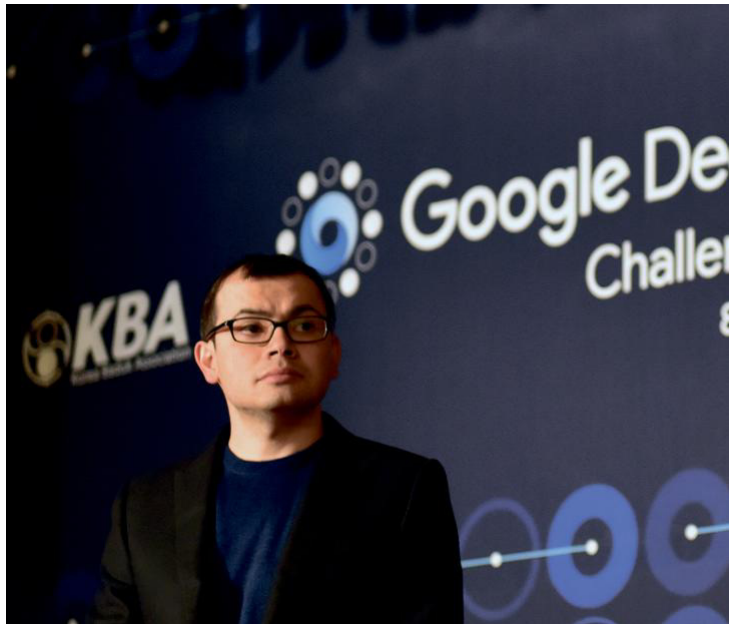
Imparare a imparare

Il *machine learning* sembra però la strategia più promettente per fare in modo che anche le macchine imbocchino una strada capace di avvicinarle all'intelligenza umana. Poggio, con il suo gruppo di ricercatori, è un pioniere nella ricerca orientata a questo traguardo. «Nel caso della visione – dice lo scienziato – siamo stati tra i primi a ricorrere a tecniche di machine learning, già negli anni novanta. Abbiamo per esempio sviluppato un sistema che distingueva volti all'interno di immagini e poi un altro che individuava i pedoni, per un progetto sviluppato con Daimler. Fino a quel momento gli algoritmi di visione erano programmati sul modello di sistemi esperti, cioè con regole precise, che permettevano per esempio di riconoscere una faccia dalla presenza nell'immagine di elementi geometrici o macchie corrispondenti alle parti caratteristiche di un volto: occhi, bocca, naso. Dagli anni novanta in poi si è però scelto un paradigma diverso: raccogliere un gran numero di esempi e mostrarli alle macchine per aiutarle a imparare. Nel caso della *face recognition*, del riconoscimento facciale, si trattava di mostrare alla macchina tante immagini di facce, e anche di "non facce", in modo da insegnare loro a riconoscerle e distinguerle anche attraverso il confronto».

Questo cambiamento di approccio ha rappresentato un'enorme semplificazione, che ha avuto come conseguenza la possibilità di applicare sistemi di machine learning e di intelligenza artificiale ad ambiti prima impensabili.

«Se quando ci si basava sui sistemi esperti – dice Poggio – c'era bisogno di programmatori con competenze molto avanzate, e costi elevati, ora basta un gruppo di persone non particolarmente specializzate o addestrate, che ha il compito di etichettare manualmente milioni di immagini da usare poi per istruire i sistemi.» È quello che ha fatto, per esempio, la società israeliana Mobileye per sviluppare la sua tecnologia, basata su sofisticati algoritmi di visione, che permette di evitare alle auto collisioni con pedoni o con altri veicoli. L'azienda, che è appena stata indicata da «MIT Technology Review», la rivista del MIT, al sesto posto tra le 50 più innovative del mondo, collabora con i più importanti produttori di auto. La sua tecnologia si fonda su algoritmi di machine learning e il suo fondatore, Amnon Shashua, ha fatto parte del gruppo di ricerca del laboratorio di Poggio.

«Ciò non significa che siamo arrivati al livello dell'intelligenza umana – dice lo scienziato – perché non c'è bisogno di far vedere a un bambino milioni di automobili per insegnarli che cosa sia una vettura. Sarà una nuova fase della ricerca, appena agli inizi, a portarci in quella direzione. Una fase che rappresenta per noi la prossima sfida della ricerca. Sviluppare cioè sistemi di machine learning che possano imparare da soli, non dico completamente ma almeno in buona parte, e che siano in grado di usare un'enorme quantità di informazioni, tra cui anche immagini non etichettate, non accompagnate da *label* che ne spieghino il contenuto. Quando un bambino impara non ha bisogno del continuo feedback dei genitori che gli dicano se ha capito o no qualche cosa. Magari questo momento di verifica avviene ogni tanto, ma non sempre. Ecco, questo è un po' il traguardo che vorremmo raggiungere con la prossima generazione di sistemi di machine learning».



Stanislav Varivoda\TASS via Getty Images

La generazione attuale è invece ancora dipendente da immagini accompagnate da label capaci di indicare alla macchina che cosa rappresentano. «Questa forma di apprendimento – spiega Poggio – è definita *supervised learning* e va a braccetto con i big data, nel senso che funziona meglio con una grande quantità di informazioni. Anche se questo non è il modo in cui imparano i bambini, funziona molto bene per le macchine. C'è anzi chi pensa che, grazie a tecniche come il supervised learning, tra dieci o vent'anni avremo sistemi in grado di eguagliare la nostra intelligenza». Tra questi ottimisti figura Demis Hassabis, studente *postdoc* del laboratorio di Poggio e fondatore di DeepMind, una società britannica di intelligenza artificiale che Google ha acquisito nel 2011. Il gruppo di DeepMind ha, tra le altre cose, creato AlphaGo, il programma che lo scorso marzo ha sconfitto Lee Se-dol, supercampione coreano di Go, il complicato e difficilissimo gioco da scacchiera.

Umani. Tomaso Poggio, ricercatore del MIT di Boston. Sotto Hassabis (*a sinistra*), fondatore di DeepMind, e Lee Se-dol, alla conferenza per la sfida di Se-dol con il programma Alpha Go.

Cortesia Tomaso Poggio (*Poggio*)

A colloquio con lo scienziato italiano, uno dei più quotati al mondo tra chi si occupa di intelligenza artificiale

Poggio però non la vede proprio allo stesso modo. «Bisogna mettersi d'accordo sulle definizioni. Per Hassabis l'intelligenza prescinde dal fatto di avere una coscienza di sé e del mondo. Quello che ha in mente lui sono probabilmente sistemi simili a Siri, l'assistente digitale installato su iPhone e iPad, ma molto più efficienti, capaci di svolgere il compito di una vera e propria segretaria. Dal mio punto di vista, ed è questo che mi fa ipotizzare tempi ben più lunghi, l'intelligenza non risiede invece solo nella capacità di estrarre l'informazione contenuta in un'immagine o in qualche altro tipo di dato, ma si basa anche sulla conoscenza di come il mondo funziona: per esempio sapere che un oggetto duro può far male o che un bicchiere si può rovesciare. Un'intelligenza che mi permetta di capire subito se due persone si stanno abbracciando o stanno facendo a botte. Per arrivarci serve un *deep learning* capace di fare molte più cose di quante ne sappia fare adesso».

Otto anni fa Poggio con il suo gruppo ha messo a punto un modello che, opportunamente addestrato, è in grado di riconoscere con la stessa precisione di un essere umano la presenza di animali in immagini di natura. Il sistema commette perfino gli stessi nostri errori, dimostrando che il modello sviluppato al Center for Brains, Minds and Machines svolge i compiti di visione richiesti in modo sostanzialmente identico al nostro. Sistemi più recenti di deep learning hanno sostanzialmente la stessa architettura. Si tratta di un primo passo verso un'autentica intelligenza delle macchine? «Sì – risponde Poggio – un inizio di quella nuova fase di cui parlavo prima». C'è stato un cambiamento nel metodo di ricerca che ha permesso di imboccare questa strada? «Più che altro – dice ancora – la decisione del nostro centro di combinare scienze cognitive con neuroscienze e *computer science*. Quando si iniziò a parlare di intelligenza artificiale e si provò a fare le prime macchine intelligenti, si applicavano solo computer science e buon senso, ma senza nessuna conoscenza specializzata di come funzionano mente, comportamento, evoluzione dell'intelligenza in un bambino».

Un grosso problema iniziale in questo approccio consiste nel distinguere ciò che fa parte dei nostri geni da quanto viene appreso. «La nostra intelligenza – afferma Poggio – non è esclusivamente frutto dell'apprendimento e dell'esperienza. Si basa anche su aspetti che si sono sviluppati con l'evoluzione e ci sono trasmessi dai geni. Se non sappiamo distinguere tra quanto è innato e quello che si deve imparare, allora diventa molto difficile anche capire da che parte iniziare per arrivare a un'intelligenza artificiale. Partire da zero, da una condizione di *tabula rasa*, non è una soluzione praticabile». Studiare il funzionamento del cervello in quest'ottica e capire da dove scaturisce l'intelligenza diventa allora fondamentale. Anzi, secondo Poggio è la sfida più seria che si presenta oggi di fronte alla scienza. «È con il cervello, con la mente – afferma lo scienziato – che cerchiamo di risolvere tutti gli altri problemi. Se riuscissimo a capirne il funzionamento e a trasferirlo alle macchine, anche noi ci faremmo più intelligenti, perché queste stesse macchine ci aiuterebbero a pensare e a risolvere più velocemente e facilmente tutti gli altri problemi. Ecco perché secondo me questa è la priorità massima tra tutti i grandi problemi della scienza».

Obiettivo ambizioso

L'idea però di venire a capo di quello che è ancora un enigma nel giro di dieci o vent'anni è, come riconosce il ricercatore italiano, «molto ambiziosa. Ci vorrà più tempo, anche se mi aspetto che nei prossimi anni avremo progressi molto significativi. Negli anni venti del Novecento si parlava, sui giornali scientifici, di "mistero della vita", come se la sua soluzione dipendesse da un'unica scoperta risolutiva. Oggi rideremmo di un'affermazione di questo tipo, perché non c'è un mistero della biologia, un salto in avanti da compiere in questa disciplina, ma tantissimi. Mi aspetto quindi che il problema dell'intelligenza sia come quello della vita: non un problema singolo, ma tanti. Non ci sarà una soluzione definitiva, ma una serie di scoperte che ci porteranno sempre più vicini a capire i meccanismi dell'intelligenza».

Lungo questa strada sarà importante mantenere l'equilibrio, non cadere in esagerazioni e trionfalismi, spinte magari da interessi commerciali o dal sensazionalismo. Ci saranno macchine più intelligenti di noi? «Più probabilmente tra qualche anno potremmo avere sistemi in grado di rispondere a domande complesse, a livello di una segretaria molto efficiente, o automobili che guidano da sole. Sviluppi di questo tipo potrebbero già cambiare la nostra vita in modo sostanziale. Ma non mi aspetto che arriveremo a sviluppare un sistema così sofisticato da indurci a riconoscerlo come uno di noi».

neuroni virtuali. I primi programmatori di questo settore dell'AI, il connessionismo, prevedevano che le reti neurali avrebbero appreso compiti complessi alterando gradualmente le connessioni tra neuroni, in modo che gli schemi di attività neurale avrebbero catturato il contenuto delle informazioni in ingresso, come un'immagine o i frammenti di un dialogo. Al crescere degli esempi ricevuti da queste reti, il processo di apprendimento sarebbe proseguito cambiando la forza delle connessioni sinaptiche fra i neuroni per dare rappresentazioni sempre più accurate, per esempio, dell'immagine di un tramonto.

Come studiare i tramonti

La generazione attuale di reti neurali estende il lavoro pionieristico del connessionismo. Le reti modificano gradualmente i valori numerici di ogni connessione sinaptica, valori che rappresentano la forza della sinapsi e dunque la probabilità, per ogni neurone, di trasmettere il segnale a un altro neurone. Un algoritmo usato dalle reti ad apprendimento profondo cambia leggermente questi valori ogni volta che osserva una nuova immagine. I valori si avvicinano sempre più a quelli che permettono alla rete neurale di migliorare la propria previsione riguardo al contenuto delle immagini.

Per funzionare al meglio, gli attuali algoritmi di apprendimento richiedono il coinvolgimento di un essere umano. La maggior parte di questi algoritmi adotta la tecnica dell'apprendimento supervisionato, in cui ciascuno degli esempi di addestramento è accompagnato da un'etichetta creata da un essere umano relativa a che cosa deve essere appreso: l'immagine di un tramonto, insomma, è accompagnata da una didascalia che dice «tramonto». In questo caso l'obiettivo dell'algoritmo di apprendimento supervisionato è prendere fotografie in entrata e dare in uscita il nome di un oggetto chiave dell'immagine. Il procedimento matematico che trasforma un dato in ingresso (input) in uno in uscita (output) si chiama funzione. I valori numerici, come quelli della forza delle sinapsi, che producono questa funzione corrispondono a una soluzione del compito di apprendimento.

Lo scetticismo sull'intelligenza artificiale era dovuto alla convinzione che addestrare le reti neurali fosse un'impresa disperata

Imparare a memoria a generare risposte corrette sarebbe facile, ma abbastanza inutile. Noi vogliamo insegnare all'algoritmo che cos'è un tramonto, in modo però che poi riconosca ogni immagine di tramonto, anche se non è fra quelle su cui è stato addestrato.

La capacità di riconoscere qualunque tramonto – in altre parole, di generalizzare quanto appreso al là dei singoli esempi – è l'obiettivo di ogni algoritmo di apprendimento automatico. Infatti la qualità dell'addestramento di una rete si valuta mettendola alla prova con esempi che non ha ancora visto. La difficoltà del generalizzare correttamente a un nuovo esempio nasce dal fatto che c'è un insieme quasi infinito di possibili variazioni che comunque ricadono in una certa categoria, come quella di tramonto.

Per generalizzare con successo dall'osservazione di un gran numero di esempi, l'algoritmo di apprendimento usato nelle reti ad apprendimento profondo ha bisogno di qualcosa in più degli esempi. Richiede anche una serie di ipotesi su che cosa l'algoritmo stesso dovrebbe fare e qualche ipotesi di partenza su quale potrebbe essere una soluzione a quel particolare problema. Una tipica ipotesi incorporata nel programma, per esempio, potrebbe affermare che se i dati in entrata di una particolare funzione sono simili, l'uscita non dovrebbe cambiare in modo radicale: alterare qualche pixel dell'immagine di un gatto non dovrebbe, di solito, trasformarlo in un cane.

Un tipo di rete neurale che incorpora ipotesi sulle immagini è detto rete neurale convoluzionale, una tecnologia che ha assunto un ruolo chiave nel rilancio dell'intelligenza artificiale. Le reti neurali convoluzionali usate nell'apprendimento profondo hanno numerosi strati di neuroni organizzati in modo da diminuire la sensibilità dell'output alle alterazioni dell'oggetto principale, per esempio quando cambia lievemente di posizione: una rete ben addestrata può riconoscere un volto ripreso da varie angolature in fotografie diverse. Il progetto delle reti convoluzionali si ispira alla struttura a più strati della corteccia visiva, la parte del nostro cervello che riceve i dati dagli occhi. I numerosi strati di neuroni virtuali di una rete neurale convoluzionale – e la potenza di calcolo necessaria per realizzarli – sono ciò che rende la rete «profonda», e dunque capace di apprendere qualcosa del mondo che ha intorno.

Apprendimento profondo

A livello pratico, i progressi che hanno reso possibile l'apprendimento profondo provengono da specifiche innovazioni emerse una decina d'anni fa, quando l'interesse per l'intelligenza artificiale e le reti neurali era al punto minimo toccato da decenni. Il Canadian Institute for Advanced Research, finanziato dal governo canadese e da privati, ha contribuito al rilancio sostenendo un programma diretto da Geoffrey Hinton dell'Università di Toronto. Vi partecipavano anche Yann LeCun della New York University, Andrew Ng della Stanford University, Bruno Olshausen dell'Università della California a Berkeley, il sottoscritto e parecchi altri. Allora, gli atteggiamenti negativi verso questa linea di ricerca rendevano difficile pubblicare, e addirittura convincere i giovani a scegliere questo campo dopo il dottorato; tuttavia qualcuno di noi aveva la netta sensazione che fosse importante andare avanti.

All'inizio a suscitare scetticismo verso l'intelligenza artificiale è stata la convinzione che addestrare le reti neurali fosse un'impresa disperata per la difficoltà di ottimizzarne il comportamento. L'ottimizzazione è una branca della matematica che cerca di trovare la configurazione di un insieme di parametri che porta a un certo obiettivo matematico. In questo caso i parametri sono detti pesi sinaptici e rappresentano la forza dei segnali inviati da un neurone all'altro.

L'obiettivo è fare previsioni con il minimo numero di errori. Quando la relazione tra parametri e obiettivo è abbastanza semplice – per l'esattezza quando l'obiettivo è una funzione convessa dei parametri – allora i parametri possono essere aggiustati gradualmente. E si continua a farlo fino a quando non arrivano il più vicino possibile ai valori che producono la migliore scelta possibile, il cosiddetto minimo globale, che corrisponde all'errore medio minimo delle predizioni fatte dalla rete.

In generale, tuttavia, addestrare una rete neurale non è così semplice, e richiede quella che è detta un'ottimizzazione non convessa. In questi calcoli l'algoritmo di apprendimento può bloccarsi in quello che viene chiamato un minimo locale, in cui non è più in grado di ridurre l'errore delle previsioni della rete neurale mediante lievi aggiustamenti dei parametri.

Solo l'anno scorso è stato sfatato il mito secondo cui addestrare le reti neurali fosse difficile a causa dei minimi locali. Nelle nostre

ricerche abbiamo trovato che quando una rete neurale è sufficientemente estesa, il problema dei minimi locali si attenua. In una rete robusta, la maggior parte dei minimi locali corrisponde all'aver acquisito conoscenze di livello quasi pari al valore ottimale, ovvero quello del minimo globale.

Anche sapendo che i problemi teorici di ottimizzazione erano risolvibili, la realizzazione di grandi reti con più di due o tre stadi era spesso fallita. Ma a partire dal 2005 il lavoro sostenuto dal Canadian Institute for Advanced Research è arrivato a miglioramenti che hanno superato queste barriere. Nel 2006 siamo riusciti ad addestrare reti neurali più profonde grazie a una tecnica che procede uno strato alla volta.

In seguito, nel 2011, abbiamo trovato un modo migliore per addestrare reti ancora più profonde – cioè con più strati di neuroni virtuali – modificando i calcoli svolti da ciascuna di queste unità di elaborazione, avvicinandoli di più a quelli effettivamente svolti dai neuroni biologici. Abbiamo anche scoperto che l'iniezione di rumore casuale nei segnali trasmessi da un neurone all'altro durante l'addestramento, in modo simile a quanto accade nel cervello, ne migliorava la capacità di imparare a identificare correttamente immagini e suoni.

Al successo delle tecniche di apprendimento profondo hanno contribuito due fattori. Un immediato aumento di dieci volte nella velocità dei computer, grazie a processori grafici inizialmente progettati per i videogiochi, ha permesso di addestrare reti più estese in tempi ragionevoli. La crescita dell'apprendimento profondo è stata alimentata anche dalla disponibilità di enormi insiemi di dati etichettati, per cui un algoritmo di apprendimento può identificare la risposta corretta, per esempio «gatto», quando esamina un'immagine nella quale il gatto è solo uno degli elementi presenti.

La riscossa dell'AI sottolinea la necessità di proporre idee che dubitino del quadro tecnologico consolidato

Un'altra ragione del recente successo dell'apprendimento profondo è la capacità di questa tecnica di eseguire una sequenza di calcoli che costruisce o analizza, un passo alla volta, immagini, suoni o altri dati. La profondità della rete equivale al numero di questi passi. Molti dei compiti di riconoscimento visivo o sonoro in cui eccelle l'intelligenza artificiale esigono i numerosi strati di una rete profonda. In recenti lavori teorici e sperimentali, in effetti, abbiamo mostrato che alcune di queste operazioni matematiche non possono essere effettuate con efficienza senza reti sufficientemente profonde.

Ciascuno strato di una rete neurale profonda opera trasformazioni sul proprio input e produce un output che è inviato allo strato seguente. La rete rappresenta concetti sempre più astratti in strati sempre più profondi (*si veda il box a p. 43*), ovvero in strati più lontani dagli input sensoriali grezzi iniziali.

Gli esperimenti mostrano che i neuroni artificiali degli strati profondi tendono a corrispondere a concetti semantici più astratti: a un oggetto visivo come una scrivania, per esempio. Il riconoscimento dell'immagine di una scrivania può emergere dalle elaborazioni dei neuroni di uno strato profondo anche se tra le etichette di categoria su cui la rete è stata addestrata il concetto di «scrivania» non c'era. Inoltre lo stesso concetto di scrivania, a sua volta, può anche essere solo un passo intermedio per arrivare a un concetto ancora più astratto in uno strato ancora più profondo, che la rete potrebbe magari categorizzare come «scena dell'ufficio».

Oltre il riconoscimento di schemi

Fino a poco tempo fa le reti neurali artificiali si distinguevano in larga misura per la loro abilità nell'eseguire compiti come riconoscere specifici schemi in immagini statiche. Ma si sta affermando anche un altro tipo di rete neurale, in particolare per eventi che si sviluppano nel tempo. Le reti neurali ricorrenti hanno dimostrato la capacità di effettuare sequenze di calcoli, tipicamente per parlato, video e altri dati. I dati sequenziali sono composti da unità – come fonemi, o intere parole – che si susseguono sequenzialmente l'una all'altra. Il modo in cui le reti neurali ricorrenti elaborano i segnali in entrata mostra qualche somiglianza con il funzionamento del cervello. I segnali che corrono attraverso i neuroni cambiano costantemente via via che gli input sensoriali sono elaborati. Questo stato neurale interno cambia in un modo dipendente dall'input che arriva al cervello prima di emettere una serie di comandi che generano movimenti del corpo mirati a un certo scopo.

Le reti ricorrenti sono in grado di prevedere quale sarà la prossima parola in una frase, e questo può essere usato per generare nuove sequenze di parole, una alla volta. E possono anche affrontare compiti più raffinati. Dopo aver «letto» tutte le parole di una frase, la rete può ipotizzare il senso della frase intera. Una rete ricorrente separata può in seguito usare l'elaborazione semantica della prima per tradurre la frase in un'altra lingua.

Anche la ricerca sulle reti neurali ricorrenti ha conosciuto un periodo di stasi nei tardi anni novanta e all'inizio degli anni duemila. Il mio lavoro teorico ha suggerito che avrebbero trovato difficoltà nell'imparare a recuperare informazioni del passato remoto, cioè dai primi elementi della sequenza in corso di elaborazione. Immaginate di dover citare letteralmente le parole della prima frase di un libro dopo aver raggiunto l'ultima pagina. Ma vari progressi hanno alleggerito alcuni problemi permettendo a questo tipo di reti di imparare a immagazzinare le informazioni in modo che durino nel tempo. Le reti neurali possono servirsi della memoria temporanea di un computer per elaborare frammenti di informazioni molteplici e dispersi, come le idee contenute in frasi sparse per tutto un documento.

La forte riscossa delle reti neurali ad apprendimento profondo dopo il lungo inverno dell'intelligenza artificiale non è solo un trionfo tecnologico, ma è anche una lezione di sociologia della scienza. In particolare questa riscossa sottolinea la necessità di sostenere le idee che mettono in discussione il quadro tecnologico consolidato e di incoraggiare la diversificazione delle ricerche, in modo che siano supportate anche le discipline che cadono temporaneamente in disgrazia. ■

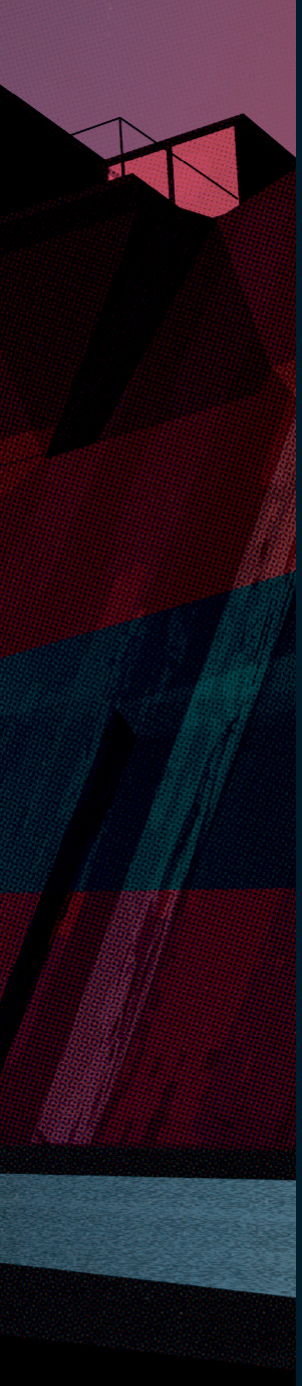
PER APPROFONDIRE

ImageNet Classification with Deep Convolutional Neural Networks. Krizhevsky A. e altri, intervento alla XXVI Conferenza annuale sui sistemi neurali di elaborazione dell'informazione (NIPS, 2012), Stateline, Nevada, 3-8 dicembre 2012.

Representation Learning: A Review and New Perspectives. Bengio Y. e altri, in «IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence», Vol. 35, n. 8, pp. 1798-1828, agosto 2013.

Deep Learning. LeCun Y. e altri, in «Nature», Vol. 521, pp. 436-444, 28 maggio 2015.

La teoria della singolarità e il codice neurale. Horgan J., pubblicato su «www.lescienze.it», 26 marzo 2016. **http://www.lescienze.it/news/2016/03/26/news/mente_bionica_singolarita_codice_neurale-3030922.**



TRASPORTI

La verità sulle auto «che si guidano da sole»

Stanno arrivando, ma non saranno come ci spingono ad aspettarcele

di Steven E. Shladover

Steven E. Shladover ha contribuito alla creazione, negli anni ottanta, del programma California Partners for Advanced Transportation Technology (PATH) presso l'Institute of Transportation Studies dell'Università della California a Berkeley

Presto avremo autisti elettronici che ci porteranno dove ci pare e quando ci pare con la massima sicurezza, purché non debbano mai svoltare a sinistra fermando il traffico. Anche le mutevoli superfici stradali sono un problema. O la neve e il ghiaccio. Inoltre sarà essenziale stare alla larga da polizia stradale, volontari degli attraversamenti pedonali e veicoli di soccorso. E nelle zone urbane, in cui davanti alla macchina è facile che spunti di colpo qualche pedone, beh, lì magari sarà meglio andare a piedi, o prendere la metro.

Tutti questi incontri, banali e quotidiani per i guidatori umani, pongono enormi problemi ai computer, e per risolverli ci vorranno tempo, denaro e molto lavoro. Eppure gran parte del pubblico si sta convincendo che i veicoli automatici sono dietro l'angolo.

Da dove viene questa discrepanza? In parte, è un problema terminologico. I media popolari dicono indiscriminatamente «veicoli autonomi», o «senza conducente», o che «si guidano da soli», per parlare di tecnologie molto diverse tra loro, oscurando importanti distinzioni. L'industria automobilistica non ha contribuito a fare chiarezza. Gli esperti di marketing di case automobilistiche, fornitori e aziende tecnologiche stanno attenti a produrre materiale promozionale che lasci ampio spazio alle interpretazioni su quanta parte della guida possano automatizzare i loro prodotti. I giornalisti che si occupano del settore hanno un incentivo ad adottare le previsioni più ottimistiche: semplicemente, sono più emozionanti. Il risultato è una spirale di aspettative sempre più irrealistiche che continua a crescere su se stessa.

È un peccato che vi sia tanta confusione, perché l'automatizzazione della guida sta arrivando davvero, e potrà salvare vite umane, ridurre l'inquinamento e risparmiare carburante. Ma non sarà proprio come ce la raccontano.

Guida automatizzata: definizioni

Guidare è un'attività molto più complessa di quanto sembri alla maggior parte della gente. Coinvolge un'ampia gamma di abilità e azioni, alcune delle quali sono più facili da automatizzare di altre. Mantenere la velocità su una strada sgombra è semplice, ed è per questo che i convenzionali sistemi di regolazione elettronica (*cruise control*) lo fanno automaticamente già da decenni. Con il progresso della tecnologia, gli ingegneri sono riusciti ad automatizzare qualche altro aspetto. I sistemi di cruise control adattivi, largamente diffusi, mantengono velocità e distanza dal veicolo precedente. I sistemi di marcia in corsia, come quelli dei nuovi modelli di Mercedes-Benz e Infiniti, utilizzano telecamere, sensori e controllo del volante per tenere centrato il veicolo nella sua corsia. Oggi le automobili sono piuttosto intelligenti. Eppure, da qui alla vera e propria guida automatica c'è un salto enorme.

Una classificazione a cinque livelli definita dalla SAE International (già Society of Automotive Engineers) può servire a chiarirci le idee sulla guida automatica. I primi tre gradini di questa scala di automazione crescente (a parte il livello 0, nessuna automazione) prevedono tecnologie che si affidano, come supporto di emergenza, all'intervento umano. Regolazione elettronica adattiva della velocità, sistemi di marcia in corsia e simili appartengono al livello 1. I sistemi di livello 2 mettono insieme più funzioni della tecnologia di livello 1, per esempio i controlli laterali e longitudinali di marcia in corsia e il cruise control adattivo, per automatizzare compiti di guida più complessi. Fin qui arriva l'automazione veicolare oggi disponibile in commercio.

I sistemi di livello 3 consentirebbero ai guidatori di mettere il pilota automatico in certe specifiche situazioni, come un ingorgo autostradale. I successivi due livelli sono profondamente diversi, nel senso che funzionano interamente senza assistenza umana. I sistemi di livello 4 (alta automazione) gestirebbero tutti gli aspetti della guida, ma solo in situazioni strettamente definite: per esempio in parcheggi chiusi o su apposite corsie dedicate sulle auto-

IN BREVE

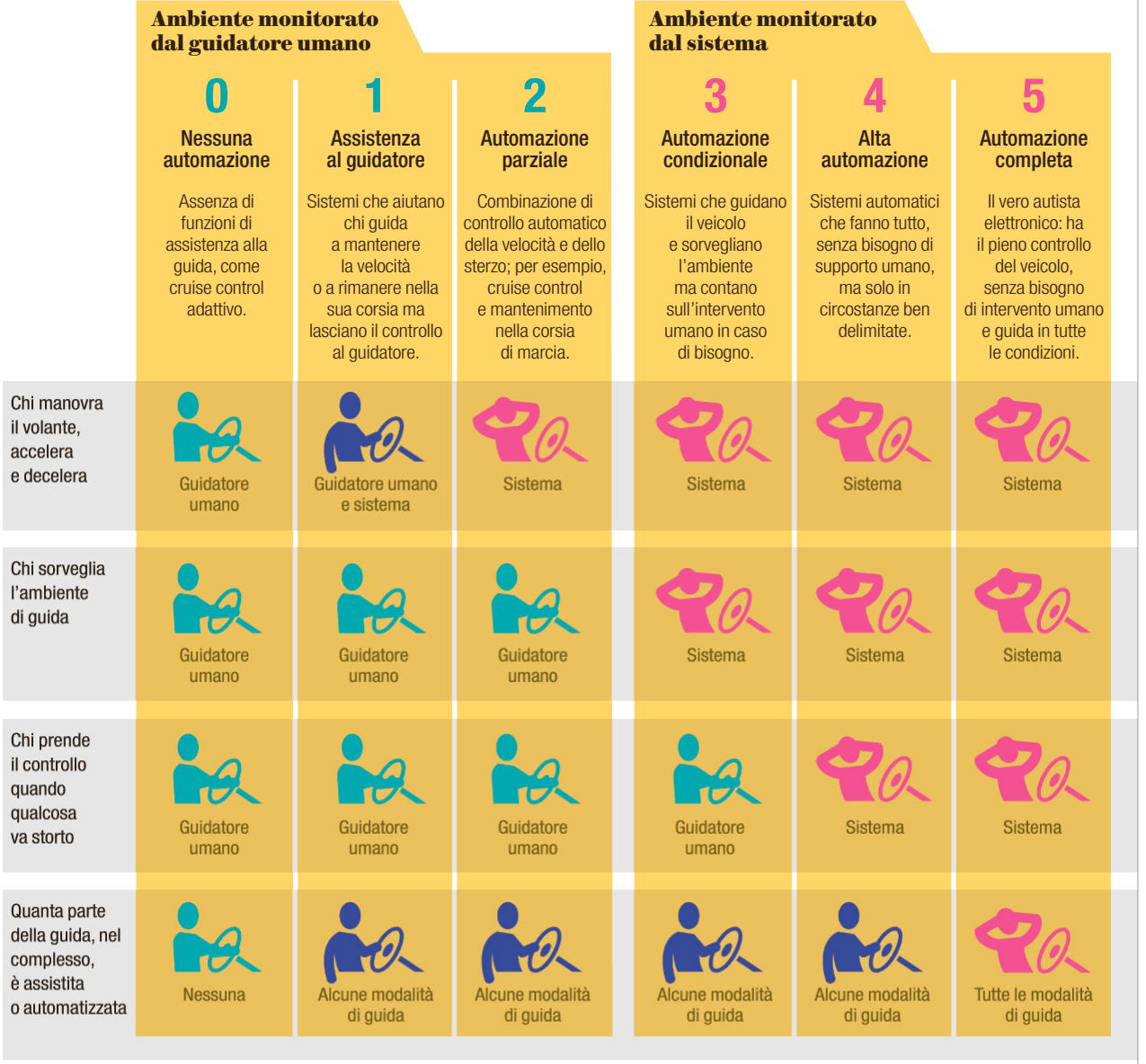
Sull'automobile senza guidatore, stampa e industria automobilistica hanno esagerato. Anche i più semplici incontri stradali pongono enormi difficoltà ai computer; per arrivare all'autista elettronico ci vogliono ancora decenni.

I sistemi di guida automatica che contano sull'intervento umano in caso di bisogno sono particolarmente problematici; nel prossimo decennio, però, vedremo una serie di sistemi di guida automatica da usare solo in particolari applicazioni e situazioni.

Sistemi di parcheggio automatici, navette a bassa velocità, colonne di camion pesanti e sistemi automatici di controllo in corsie dedicate sono fattibili, e forse inevitabili.

La scala dell'automazione

Case automobilistiche e media hanno seminato confusione nella terminologia dei sistemi di guida automatizzata. Termini come «veicolo autonomo», o «senza guidatore» o «a guida automatica» confondono più di quanto facciano capire. Per fare chiarezza, SAE International ha stilato definizioni, sintetizzate qui sotto, per i diversi livello di automazione, organizzandoli in base alla riduzione crescente del ruolo del guidatore umano. Questa gerarchia presenta qualche sorpresa: per esempio l'automazione di livello 4 è di gran lunga più praticabile di quella di livello 3. Per i sistemi automatizzati di livello 5 – autisti elettronici in grado di gestire ogni condizione di guida senza interventi umani – ci vorranno ancora decenni.



Illustrazioni di Nigel Holmes (*icone*); fonte: Sae International; per la documentazione, comprese le definizioni originali integrali, si veda la pubblicazione J3016 presso www.sae.org.autodrive

strade. In cima alla scala c'è il livello 5: l'auto completamente automatica. Presumibilmente è a questa che pensa la gente quando sente qualcuno – per esempio l'amministratore delegato di Nissan, Carlos Ghosn – proclamare con sicurezza che le automobili automatiche arriveranno sulle strade entro il 2020.

La verità è che nessuno si aspetta che per quella data saranno sul mercato dei sistemi di automazione di livello 5, che con tutta probabilità sono ancora ben lontani. Altrettanto lontani potrebbero essere i sistemi di livello 3. Ma quelli di livello 4? Sono in arrivo entro il prossimo decennio. Per capire questa sconcertante situazione, dobbiamo parlare di software.

Software da incubo

Anche se forse non sembra, i guidatori umani sono decisamente bravi a evitare incidenti gravi. Stando alle statistiche sulla sicurezza stradale negli Stati Uniti nel 2011, gli incidenti con con-

seguenze mortali sono stati uno ogni 3,3 milioni di ore di guida circa, e gli incidenti con feriti uno ogni circa 64.000 ore. Questi numeri ci danno un importante obiettivo per la sicurezza dei sistemi di guida automatica, che dovrebbero essere, come minimo, non meno sicuri dei guidatori umani. Arrivare a questi livelli di affidabilità richiederà sviluppi di gran lunga più vasti di quanto siano disposti ad ammettere gli entusiasti dell'automazione.

Si pensi a quante volte si blocca un computer. Se quel software fosse responsabile della guida di un'auto, a essere «morto» non sarebbe solo il computer. Nel traffico, un ritardo nella risposta del software, anche solo di un decimo di secondo, creerebbe facilmente pericoli. Il software per la guida automatica deve quindi essere progettato e sviluppato rispettando standard enormemente diversi da tutto ciò che si trova oggi nei dispositivi di consumo.

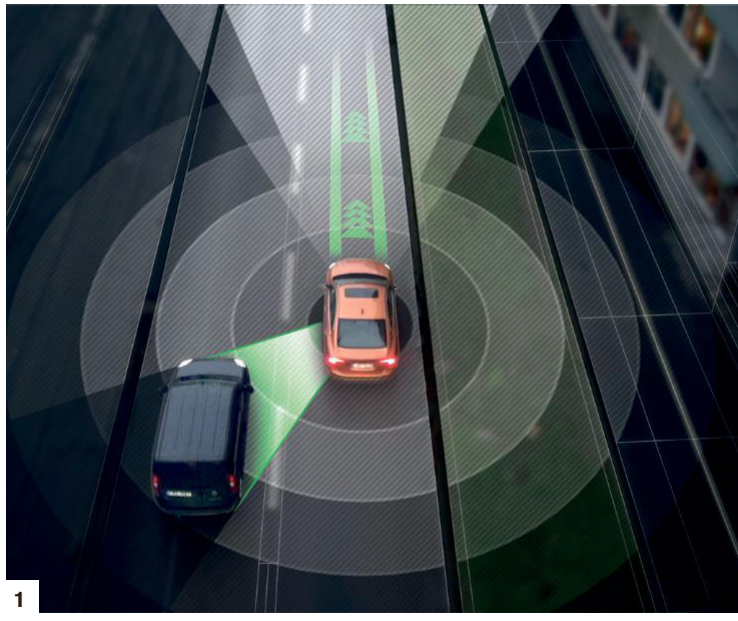
Arrivarci sarà profondamente difficile e richiede progressi fondamentali nell'ingegneria del software e nel trattamento dei segnali. Intanto c'è bisogno di nuovi metodi per progettare software dimostrabilmente sicuro anche in condizioni complesse e in rapido cambiamento. Esistono metodi formali per analizzare un blocco di codice e trovarne ogni possibilità di guasto prima ancora di scriverlo – una sorta di dimostrazione matematica dei programmi di computer – ma solo per applicazioni molto semplici. Gli scienziati hanno appena iniziato a pensare al modo di ingrandire la scala di questo genere di test fino a validare il codice incredibilmente complesso necessario per controllare un veicolo totalmente automatizzato.

Frazioni di secondo

Una volta scritto il codice, ci vorranno nuovi metodi di debug e verifica. Quelli attuali sono troppo complicati e costosi. Tanto per mettere le cose in prospettiva, si pensi che la metà del costo di un nuovo aeroplano commerciale o militare va in verifica e validazione del software. E il software di un aereo è in realtà molto *meno* complesso di quello che ci vorrà per mandare su strada veicoli automatici. L'ingegnere che disegna il software del pilota automatico di un aereo sa che solo molto di rado, se non mai, si troverà ad avere più di uno o due altri velivoli nelle vicinanze. E non c'è bisogno di conoscere la loro velocità e posizione con chissà quale precisione, perché saranno abbastanza lontani da dargli il tempo di reagire. Le decisioni vanno prese in tempi dell'ordine delle decine di secondi. Un veicolo da strada automatizzato dovrà tenere traccia di decine di altri veicoli e ostacoli, e prendere decisioni in frazioni di secondo. Il codice necessario sarà più complesso, di interi ordini grandezza, di quello che serve per tenere in volo un aereo.

Una volta che il codice sia stato validato, i fabbricanti dovranno riuscire a «provare» la sicurezza di un sistema di guida completamente automatico in modo da convincere i dirigenti addetti alla gestione dei rischi dell'azienda, le compagnie assicuratrici, le organizzazioni che promuovono la sicurezza stradale, le autorità regolatrici e, naturalmente, i consumatori.

I tipi di «test di accettazione» formali oggi in uso sono completamente inadatti, in termini pratici, a questi fini. Bisognerebbe far percorrere centinaia di milioni di chilometri, se non miliardi, a un veicolo, per assicurarsi di averlo posto di fronte, in misura statisticamente significativa, alle situazioni pericolose che incontrerà quando sarà usato da migliaia di utenti. Si è cominciato a pensare alle possibili soluzioni di questo problema – lo Stato e l'industria tedeschi hanno lanciato un progetto da vari milioni di dollari in merito – ma siamo appena all'inizio di questo lavoro.



1

2

E non c'è da considerare soltanto il codice di controllo del veicolo – il cervello, per così dire. Anche i sensori che forniscono i dati al cervello dovranno essere sottoposti allo stesso scrutinio. Gli ingegneri dovranno sviluppare nuovi algoritmi di trattamento dei segnali dei sensori e di fusione dei dati, capaci di discriminare tra oggetti pericolosi e non pericolosi sul cammino di un veicolo con assenza praticamente assoluta di falsi negativi (mancata identificazione di oggetti pericolosi) e pochissimi falsi positivi (oggetti non pericolosi non riconosciuti come tali, con conseguenti comportamenti inappropriati del veicolo, come sterzate o frenate brusche).

E non si può neppure ricorrere all'approccio a base di «forza bruta» – ridondanza in tutti i sistemi – che si usa per questi fini nei velivoli commerciali, perché un'automobile automatica è un prodotto di consumo di massa: deve essere abbordabile per il grande pubblico.

Neppure l'intelligenza artificiale offre soluzioni ovvie. C'è chi ha proposto sistemi ad apprendimento automatico con cui i sistemi di guida automatica potrebbero studiare milioni di ore di dati di guida, e poi continuare a imparare lungo tutto il ciclo di vita. Ma l'apprendimento automatico introduce a sua volta nuovi pro-

Si ringrazia il Gruppo Volvo Cars (1-3)

L'anno prossimo Volvo Cars sottoporrà a prove su strada oltre 100 SUV (1) capaci di monitorare il proprio ambiente e di guidarsi da soli (2). Veicoli di questa casa sono stati usati anche in prove su strada di convogli di veicoli in Europa (3).

3

blemi, perché è di natura non deterministica. Due veicoli possono uscire identici dalla catena di montaggio, ma dopo un anno di incontri con situazioni di traffico diverse i loro sistemi di automazione saranno due software molto diversi.

Un futuro di livello quattro

Un tempo dicevo che i sistemi di guida completamente automatizzati di livello 5 non sarebbero diventati fattibili se non dopo il 2040. Ma a un certo punto la gente ha cominciato ad attribuirmi la previsione che il livello 5 sarebbe arrivato *nel* 2040. Adesso dico che di veicoli completamente automatici capaci di guidarsi da soli in tutte le situazioni non ce ne saranno prima del 2075. Potrebbero arrivare prima? Certo. Ma non di molto.

Anche per l'automazione di livello 3 le prospettive sono brutte, a causa del problema molto concreto di richiamare, in caso di emergenza, l'attenzione di un guidatore che si è distratto a guardare il paesaggio o, peggio ancora, si è addormentato. Ho sentito funzionari di case automobilistiche dire che il problema è talmente serio che con l'automazione di livello 3 non ci proveranno neppure. A parte l'assistente per gli ingorghi, che entra in funzione quando si tratta di procedere a singhiozzo e a velocità così basse che una collisione può al massimo ammaccare il paraurti, è ragionevole ipotizzare che l'automazione di livello 3 non verrà mai realizzata.

Eppure vedremo presto automobili altamente automatizzate, probabilmente entro il prossimo decennio. Quasi tutte le grandi case automobilistiche, e molte aziende informatiche, stanno dedicando cospicue risorse all'automazione di livello 4: guida totalmente automatica, limitata a particolari ambienti, che non si affida ai fallibili esseri umani come supporto d'emergenza. Se si mettono vincoli alle situazioni in cui i sistemi di automazione veicolare devono funzionare, la loro fattibilità aumenta di molto. (Sono anni che nei grandi aeroporti funzionano sistemi automatici di smistamento dei passeggeri, solo che vanno su binari totalmente isolati.)

Con tutta probabilità, i prossimi dieci anni porteranno sistemi di parcheggio automatici che permetteranno ai guidatori di lasciare l'automobile all'entrata di un garage appositamente attrezzato, da cui sono esclusi pedoni e veicoli non automatici. Un sistema di automazione di bordo comunicherà con sensori piazzati in tutto il garage per trovare un posto libero e raggiungerlo. Dato che non ci sarà bisogno di aprire le portiere, gli spazi di parcheggio potranno essere più stretti, e questo permetterà di far entrare più macchine nei garage che si trovano in zone in cui lo spazio è costoso.

In zone pedonali urbane, poli tecnologici, campus universitari e altri luoghi da cui possono essere esclusi i veicoli veloci, funzioneranno navette passeggeri senza conducente a velocità contenuta. In ambienti del genere, sensori di capacità limitata dovrebbero bastare a «vedere» pedoni e ciclisti, e una frenata di troppo in caso di falso positivo non farebbe male a nessuno (pur infastidendo i passeggeri del veicolo). Il progetto CityMobil2 della Commissione Europea sta realizzando versioni dimostrative di queste tecnologie già dal 2014 e la dimostrazione finale è prevista per quest'estate.

Presto, percorsi separati per gli autobus e corsie esclusivamente dedicate ai camion consentiranno ai veicoli commerciali di funzionare con livelli più alti di automazione. La segregazione fisica di questi veicoli dal resto degli utenti semplificherà grandemente i sistemi di individuazione dei pericoli e la relativa risposta. Alla fine, camion e autobus senza conducente, disposti in colonne, saranno in grado di seguire un veicolo guida, con risparmio di carburante. Ricercatori di tutto il mondo, fra cui quelli dell'Università della California, del programma Berkeley California Partners for Advanced Transportation Technology (PATH), del programma ITS di Japan Energy e dei progetti KONVOI e SARTRE in Europa, hanno già messo alla prova sistemi prototipo di autobus e camion in colonna.

Ma gli esempi più diffusi entro il prossimo decennio di automazione di livello 4 saranno probabilmente sistemi automatizzati da autostrada per veicoli passeggeri personali. Questi sistemi consentiranno alle auto di guidarsi da sole, in determinate condizioni, su apposite sezioni delle autostrade. I veicoli avranno componenti e sottosistemi ridondanti, in modo che se qualcosa va male possano «tornare zoppicando a casa» senza guida umana. Probabilmente potranno andare solo con tempo buono su tratti di autostrada preventivamente mappati in dettaglio, fino alla segnaletica e alla marcatura delle corsie. Questi tratti stradali potrebbero essere dotati anche di «approdi» di sicurezza dove i veicoli possano andare in caso di problemi. La maggior parte delle case automobilistiche è attivamente impegnata nello sviluppo di questi sistemi, e Volvo Cars prevede di condurre, l'anno prossimo, dei test su queste possibilità con 100 prototipi a Göteborg, in Svezia.

Non saranno scenari futuristici quanto uno chauffer elettronico personale, ma hanno il vantaggio di essere possibili. Anzi, inevitabili; e presto. ■

PER APPROFONDIRE

Technical Challenges for Fully Automated Driving Systems. Shladover S. Presentato al 21° Congresso mondiale sui sistemi di trasporto intelligenti, Detroit, Michigan, 7-11 settembre 2014.

Towards Road Transport Automation: Opportunities in Public-Private Collaboration. Sommario del terzo simposio EU-USA sulla ricerca nel campo dei trasporti, Washington, 14-15 aprile 2015. National Academies of Sciences, Engineering and Medicine, 2015.

Sommario delle definizioni per il rapporto di SAE International 2014 *Taxonomy and Definitions for Terms Related to On-Road Motor Vehicle Automated Driving Systems*: **www.sae.org/misc/pdfs/automated_driving.pdf.**

Verso l'auto a rischio zero. Ashley S., in «Le Scienze» n. 487, dicembre 2008.

Stuart Russell, docente di *computer science* all'Università della California a Berkeley, è un esperto di intelligenza artificiale

COMMENTO

Dobbiamo aver paura di robot troppo bravi?

Se non stiamo attenti potremmo trovarci alle prese con macchine determinate e intelligenti che inseguono obiettivi in conflitto con i nostri

di Stuart Russell

Difficile sfuggire al fastidioso sospetto che creare macchine più brave di noi potrebbe anche darci problemi. Dopotutto, se a suo tempo i gorilla avessero accidentalmente creato l'essere umano, adesso che sono a rischio magari preferirebbero non averlo fatto. Ma in realtà perché, nello specifico, l'intelligenza artificiale avanzata può essere un problema?

L'idea hollywoodiana che macchine coscienti e spontaneamente malvagie si mettano alla testa di eserciti di robot assassini è una stupidaggine. Il vero problema riguarda la possibilità che l'intelligenza artificiale possa diventare incredibilmente brava a fare qualcosa di diverso da quello che noi vogliamo. Nel 1960 il leggendario matematico e fondatore della cibernetica Norbert Wiener la mise così: «Se per conseguire i nostri fini, usiamo un'agenzia meccanica con le cui operazioni non possiamo interferire in modo efficiente (...), sarà meglio che ci assicuriamo bene che il fine messo dentro la macchina sia proprio quello che desideriamo».

Una macchina che ha un fine specifico ha anche un'altra proprietà, che noi di solito associamo agli esseri viventi: il desiderio di preservare la propria esistenza. Per la macchina, questo non è un tratto innato, né è qualcosa introdotto dagli esseri umani. È una logica conseguenza del fatto che la macchina non può raggiungere il suo scopo originario se è morta. Quindi se inviamo un robot con la sola e unica direttiva di portarci il caffè, l'automa avrà un forte incentivo ad assicurarsi il successo disattivando l'interruttore con cui potrebbe essere spento o addirittura sterminando chiunque possa interferire con la sua missione. Se non stiamo attenti, insomma, potremmo trovarci incastrati in una specie di partita a scacchi globale contro macchine molto decise, e super-intelligenti, che hanno obiettivi in contrasto con i nostri; e con il mondo reale per scacchiera.

La prospettiva di dover giocare, e perdere, una simile partita dovrebbe essere un forte stimolo per i *computer scientist*. Qualche ricercatore afferma che si possono confinare le macchine dietro una sorta di *firewall*, sfruttandole per rispondere a domande specifiche ma senza mai permettere che agiscano sul mondo reale. Quindi, certo, niente robot super-intelligenti! Purtroppo pare improbabile che un'idea del genere possa funzionare: ancora non abbiamo inventato un buon firewall contro i normali malintenzionati umani, figuriamoci con le macchine super-intelligenti!

Non potremmo allora affrontare direttamente il pericolo da cui ci metteva in guardia Wiener? Possiamo progettare sistemi di intelligenza artificiale i cui fini non sono in conflitto con i nostri, in modo da poter essere sicuri che saremo contenti del loro comportamento? Facile certo non è, dopo tutto, se in una storia ci sono un genio e tre desideri va spesso a finire che il terzo desiderio annulla i primi due. Tuttavia ritengo che sia possibile, a condizione

però che nel progettare sistemi intelligenti si seguano tre principi di base.

Il fine della macchina deve essere di massimizzare l'attuazione di valori umani. In particolare, la macchina non deve avere alcun fine proprio e neppure il desiderio innato di proteggere se stessa.

La macchina deve essere inizialmente incerta su che cosa siano questi valori umani. Questo è cruciale, e in un certo senso aggira il problema di Wiener. Andando avanti, la macchina può ovviamente arricchire le sue conoscenze sui valori umani, ma senza mai arrivare alla certezza totale.

La macchina deve essere in grado di trarre conoscenze sui valori umani dall'osservazione delle scelte che facciamo noi esseri umani.

I primi due principi possono sembrare sconcertanti, a prima vista, ma è facile vedere che insieme evitano che un robot possa avere un forte incentivo a mettere fuori uso il proprio interruttore. Il robot sa con certezza di voler massimizzare valori umani, ma allo stesso tempo non sa con esattezza quali sono. Quindi per il robot essere spento è un bene, perché si rende conto che se l'essere umano lo spegne è per impedirgli di fare una cosa in contrasto con i valori umani. Il robot, quindi, ha un reale incentivo a lasciare intatto l'interruttore di spegnimento per capire quello che non deve fare, che deriva direttamente dalla sua incertezza sui valori umani.

Il terzo principio attinge a un ramo dell'intelligenza artificiale detto apprendimento per rinforzo inverso (*inverse reinforcement learning*, IRL), che tratta specificamente di come apprendere valori di una certa entità – che sia un essere umano, un cane o uno scarafaggio – osservandone il comportamento. Guardando la tipica routine del mattino degli esseri umani, il robot impara qual è per loro il valore del caffè. Il campo è ancora agli inizi, ma c'è già qualche algoritmo che ne dimostra le potenzialità per la progettazione di macchine intelligenti.

Mentre evolve, l'IRL dovrà trovare il modo di venire a patti con il fatto che gli esseri umani sono irrazionali, poco coerenti, carenti di forza di volontà e dotati di capacità computazionali variabili, quindi non sempre le loro azioni riflettono i loro valori. Inoltre, fra loro vi sono insiemi di valori diversi, e questo vuol dire che i robot devono essere sensibili a possibili conflitti e compromessi tra le persone. E ci sono anche i malvagi, che non devono essere né aiutati né imitati.

Malgrado queste difficoltà, credo che sarà possibile che le macchine imparino abbastanza sui valori umani da non essere una minaccia per la nostra specie. Oltre a osservare il comportamento umano, le macchine saranno aiutate dall'accesso a grandi quantità di informazioni scritte e filmate su persone che fanno molte cose (e altre che reagiscono). Progettare algoritmi che possano capire queste informazioni è assai più facile che realizzare macchine super-intelligenti da zero. Inoltre ci sono forti incentivi economici affinché i robot e i loro produttori capiscano e rispettino i valori umani: se un robot progettato male cuoce un gatto perché non ha capito che il valore sentimentale dell'animale vale più di quello nutrizionale, il settore dei robot domestici andrà in bancarotta.

Risolvere il problema della sicurezza abbastanza bene da poter andare avanti nell'intelligenza artificiale sembra possibile, ma non facile. Abbiamo ancora decenni, probabilmente, per prepararci all'arrivo delle macchine super-intelligenti. Ma non è il caso di ignorare o minimizzare il problema, come ha fatto qualche ricercatore. C'è chi dice che esseri umani e macchine possono coesistere purché lavorino in squadra, ma questo non è fattibile se le macchine non condividono i nostri valori. Altri dicono che si possono sempre «spegnere», come se una macchina super-intelligente fosse abbastanza stupida da non pensare a questa possibilità. Altri ancora credono che l'intelligenza artificiale super-intelligente non arriverà mai. L'11 settembre 1933 l'affermato fisico Ernest Rutherford dichiarava con assoluta certezza: «Chiunque si attenda una fonte di energia dalla trasformazione di questi atomi parla di fantasie». Il 12 settembre 1933 un altro fisico, Leo Szilard, intuiva la reazione nucleare a catena indotta da neutroni. ■

EVOLUZIONE

L'ASCESA DEI MA

Alcuni fossili scoperti di recente rivelano che le basi evolutive del predominio dei mammiferi sulla Terra ebbero inizio molto prima che un asteroide provocasse l'estinzione dei dinosauri

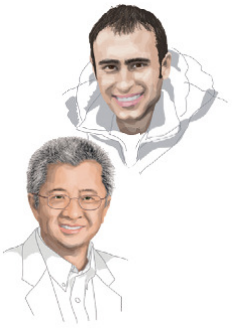
di Stephen Brusatte e Zhe-Xi Luo

Dinosauri a colazione. In Cina sono stati ritrovati resti fossili di *Repenomamus*, uno dei primi mammiferi, risalente a circa 130 milioni di anni fa, con le ossa di un cucciolo di psittacosauro nella gabbia toracica.

MMIFERI

Stephen Brusatte è un paleontologo dell'Università di Edimburgo, in Scozia.

Zhe-Xi Luo è un paleontologo dell'Università di Chicago, impegnato nello studio delle prime fasi evolutive dei mammiferi.



Una sera, nel lontano inverno del 1824, il naturalista e teologo britannico William Buckland tenne un discorso alla Geological Society of London. Le aspettative erano altissime; Buckland era famoso per le sue animate conferenze all'Università di Oxford, dove si aggirava in tocco e toga, passando ai suoi studenti adoranti parti di animali e fossili. Si sospettava da anni che Buckland avesse messo le mani su alcune enormi ossa fossili, ritrovate nella campagna inglese da lavoratori impegnati nelle cave di ardesia. Dopo circa un decennio di studi, Buckland era pronto a fare il suo annuncio; disse quindi al pubblico che le ossa appartenevano a un'antica creatura simile a una lucertola, ma molto più grande, che chiamò Megalosauro. Il pubblico rimase a bocca aperta: Buckland aveva appena rivelato al mondo il primissimo dinosauro.

Quella sera fu un momento chiave nella storia della scienza, che avrebbe dato il via alla duratura attrazione degli esseri umani per i dinosauri. Eppure molti dimenticano che Buckland quella sera fece un altro annuncio, riguardante una scoperta molto più piccola in termini di dimensioni, ma altrettanto rivoluzionaria. Nello studiare gli altri fossili ritrovati nelle cave vicino al Megalosauro, Buckland aveva notato un altro reperto, «particolarmente curioso»: due minuscole mascelle di mammifero delle dimensioni pari a quelle di un topo. Fino ad allora gli studiosi avevano ritenuto che i mammiferi fossero creature recenti, comparse molto dopo le ere geologiche primordiali dominate da enormi salamandre e lucertole. Le due minuscole mascelle, con i denti canini tipici dei mammiferi, furono la prima indicazione dell'origine molto più antica di questo gruppo.

Le due mascelle sollevarono una serie di interrogativi. A quando risalivano le origini dei mammiferi? Come si erano comportati i mammiferi durante il lungo predominio dei dinosauri? In che modo si erano sviluppate le loro tipiche caratteristiche fisiche, come la pelliccia, le ghiandole mammarie, un cervello di grandi dimensioni, una dentatura complessa e i sensi molto sviluppati? E perché un gruppo specifico di mammiferi (i placentati, come l'uomo), che mettono al mondo creature giovani già sviluppate, riuscì a imporsi su tutti gli altri, con oltre 5000 specie sparse in tutto il pianeta e diversissime tra loro, dai pipistrelli pesi piuma alle gigantesche balenottere azzurre?

Per i due secoli successivi all'annuncio di Buckland fu difficile trovare una risposta a queste domande, data la scarsità di fossili ricollegabili ai primi mammiferi. Una straordinaria ondata di ritrovamenti fossili avvenuti negli ultimi 15 anni sta finalmente aiutando gli scienziati a tracciare il percorso evolutivo dei mammiferi, dalle minuscole creature che vivevano all'ombra del Megalosauro all'incredibile varietà di forme che popolano il mondo odierno.

Un inizio in sordina

Come tutte le dinastie, i mammiferi hanno origini umili. In gergo scientifico si definiscono come il gruppo dell'albero della vita che comprende i monotremi, che depongono le uova, i marsupiali, che crescono i loro cuccioli in un marsupio, e i placentati, oltre a tutti i discendenti estinti del loro antenato comune. Le prime creature che assunsero un aspetto e un comportamento simile ai mammiferi di oggi erano un insieme di mammaliaformi primitivi, un nome curioso per definire i parenti più stretti dei mammiferi veri e propri. A loro volta, questi derivarono dai cinodonti, specie primitive che mantenevano molte caratteristiche dei rettili loro antenati.

Le prime tracce di mammaliaformi risalgono a circa 210 milioni di anni fa, in altre parole al tardo Triassico, un periodo esaltante in termini evolutivi. Qualche decina di milioni di anni prima gran parte delle forme di vita erano scomparse in un'estinzione di massa che segnò la fine del Permiano e l'inizio del Triassico. Spariti quasi tutti gli anfibi e i rettili giganti che avevano dominato il Permiano, durante la fase di vuoto post-apocalittico emersero molti dei principali gruppi di animali esistenti oggi. Tartarughe, lucertole, rane, coccodrilli, dinosauri (successivamente evoluti in uccelli) e fecero la loro comparsa tutte le principali forme primordiali di mammiferi.

Alcuni dei migliori fossili di mammaliaformi del Triassico provengono dalle rocce che circondano un braccio gelato del Mar Glaciale Artico chiamato Fleming Fjord, che taglia la costa della Groenlandia orientale. L'abbondanza di minuscoli denti e mascelle ritrovati nella zona negli anni novanta del secolo scorso ha contribuito a tracciare un ritratto dei diretti antenati dei mammiferi. Questi fossili non sono stati facili da reperire. Farish Jenkins, un paleontologo di fama leggendaria scomparso nel 2012, e il suo intrepido team della Harvard University li hanno estratti dalle rocce congelate.

Le conferenze di Jenkins erano altrettanto coinvolgenti e spettacolari quanto quelle di Buckland: faceva lezione indossando

IN BREVE

Gli scienziati si chiedono da tempo quando e in che modo i mammiferi siano diventati i vertebrati dominanti sulla terra.
Finora i fossili non avevano dato spiegazioni chiare, ma negli ultimi 15 anni un'ondata di ritrovamenti ha contribuito a documentarne l'ascesa e a chiarire il ruolo dell'estinzione dei dinosauri.
Le scoperte dimostrano che i mammiferi iniziarono ad affermarsi molto prima di quanto si ritenesse possibile, sviluppando una serie di specializzazioni già durante il dominio dei dinosauri.
In particolare, la scomparsa dei dinosauri avrebbe favorito l'affermazione dei mammiferi placentati.

James Gurney (*pagine precedenti*)

eleganti abiti di sartoria e disegnando sulla lavagna precisi diagrammi di scheletri e insieme di organi. Jenkins, che aveva fatto parte del corpo dei Marines, era un coraggioso leader delle spedizioni alla ricerca di fossili, e portava sempre con sé un fucile per difendere le sue squadre dal pericolo costante di ogni missione nell'Artico: gli orsi polari.

Le spedizioni di Jenkins scoprirono fossili appartenenti a tre tipi principali di mammaliaformi primitivi: Kuehneotheriidae, Morganucodonti e Haramiyida: tutti animali molto piccoli, delle dimensioni di un topo o di un toporagno, ma che avevano già sviluppato importanti segni caratteristici dei mammiferi. In particolare erano coperti di pelliccia, che forniva isolamento dal freddo e aiutava gli animali a disperdere il calore quando aumentava la temperatura. Inoltre i loro crani erano dotati di una giuntura a cerniera più semplice che, assieme ai grandi muscoli per la chiusura della mandibola, serviva a rafforzare e coordinare la masticazione, rispetto alla confusa tecnica dei cinodonti, che consisteva nel mordere e ingoiare. I cuspidi dentali, specialmente i molari nella parte posteriore delle mascelle, rendevano la masticazione ancora più efficiente.

I fossili ritrovati in Groenlandia e in altri continenti dimostrano che i cambiamenti della mascella avvennero contemporaneamente a una fase fondamentale nello sviluppo dentale. Mentre i denti dei cinodonti crescevano, cadevano e ricrescevano durante tutto l'arco della vita, i mammaliaformi primitivi presentavano uno schema a noi ben noto, consistente nella presenza di una dentatura decidua alla nascita sostituita dalla dentatura adulta. Nonostante gli adulti non siano particolarmente felici quando capita loro di perdere un dente in età adulta e non vederlo ricrescere, il nostro metodo di sviluppo e sostituzione della dentatura è strettamente legato a una delle caratteristiche identitarie della biologia dei mammiferi. I cuccioli senza denti o con denti da latte possono succhiare il latte materno prodotto dalle ghiandole mammarie che danno il nome a questo gruppo. I mammaliaformi avrebbero dunque nutrito i loro piccoli nello stesso modo; un cambiamento evolutivo epocale che permise ai mammiferi di crescere più velocemente, garantire una maggiore sopravvivenza dei cuccioli e ottenere un metabolismo più attivo, e che consentì ai mammaliaformi primitivi di essere attivi in ambienti più freddi, specialmente nell'oscurità notturna.

L'adattabilità ai cambiamenti tramite diversificazione potrebbe essere stata la chiave del successo degli antenati dei mammiferi

I mammaliaformi primitivi mostrano i primi segni di altri tratti tipici dei mammiferi, compresi alcuni che ne migliorarono l'intelligenza e la percezione sensoriale. Grazie ai progressi nel campo della tomografia computerizzata ottenuti nell'ultimo decennio, i paleontologi hanno potuto visualizzare nel dettaglio l'anatomia interna delle ossa fossilizzate, compresi cavità cerebrali e vie nervose, scoprendo che questi mammiferi primordiali avevano cervelli enormi rispetto ai loro antenati, anche se non grandi quanto quelli dei mammiferi odierni. Avevano anche bulbi olfattivi e sistemi uditivi più grandi, e quindi un olfatto e un udito più sviluppati, e regioni cerebrali più estese che elaboravano informazioni tattili provenienti dalla pelle e dai peli. Anche l'orecchio interno era più sviluppato, circondato da ossa robuste che isolavano il delicato apparato uditivo dai forti rumori della masticazione.

Pur avendo iniziato ad acquisire alcune delle ingegnose caratteristiche dei moderni mammiferi, i minuscoli mammaliaformi del Triassico non erano comunque animali dominanti. All'epoca, il ruolo spettava infatti a dinosauri e coccodrilli, che iniziarono ad assumere dimensioni mostruose e a imporsi al vertice della catena alimentare. Tuttavia questi proto-mammiferi erano in grado di compensare le loro piccole dimensioni con una grande varietà.

Un recente studio condotto da Pamela Gill, dell'Università di Bristol, nel Regno Unito, ha rivelato una sorprendente diversità nelle capacità di adattamento alimentare tra queste creature. Usando linee di luce di sincrotrone per effettuare la scansione dei denti dei mammaliaformi e sviluppando software in grado di modellizzarne il funzionamento, Gill e colleghi hanno dimostrato che le mascelle dei morganucodonti erano abbastanza forti da frantumare grandi insetti con esoscheletri rigidi, come gli scarabei, mentre la famiglia dei Kuehneotheriidae aveva mascelle e denti fragili che potevano masticare soltanto vermi morbidi, falene o poco più. Ulteriori studi condotti da uno di noi (Luo) dimostrano che gli Haramiyida potevano tagliuzzare e sminuzzare piccole piante grazie alla speciale mobilità delle loro mascelle.

Il big bang giurassico

Secondo la concezione tradizionale dell'evoluzione dei mammiferi, i proto-mammiferi sarebbero rimasti immutati per decine di milioni di anni durante buona parte del Mesozoico (il periodo che va da 252 a 66 milioni di anni fa e comprende Triassico, Giurassico e Cretaceo). Mentre i dinosauri dominavano, i proto-mammiferi erano relegati a un'esistenza insignificante come piccoli mangiatori di insetti, che vivevano al suolo e si spostavano rapidamente tra la bassa vegetazione. Ma una serie di nuovi fossili scoperti in diverse aree del mondo ha smentito questo scenario. L'adattabilità riscontrata nei mammaliaformi primitivi sarebbe diventata un tratto comune durante tutta l'evoluzione dei mammiferi, compreso il lungo periodo in cui convissero con i dinosauri, e questa adattabilità al cambiamento tramite la diversificazione sembrerebbe essere stata la chiave del loro successo.

La grande intelligenza dei mammaliaformi primitivi, i sensi affinati e il metabolismo veloce permettevano loro di sopravvivere al meglio durante le notti fredde e oscure. Queste stesse caratteristiche potrebbero aver contribuito alla loro sopravvivenza in occasione di un'altra catastrofe. I dati geologici dimostrano che circa 200 milioni di anni fa, nel passaggio dal Triassico al Giurassico, il supercontinente Pangea si separò. I vulcani iniziarono a eruttare tra le crepe sempre più ampie che separavano i continenti di nuova formazione, inquinando l'atmosfera e provocando il collasso degli ecosistemi. I mammaliaformi riuscirono a sopravvivere a questo evento infernale, trovando riparo in spazi non accessibili a molti altri vertebrati dell'epoca.

Alcuni dinosauri sopravvissero all'estinzione di massa di fine Triassico, e questo gruppo rimase dominante durante il Giurassico. Ma 30 milioni di anni dopo quella crisi i mammiferi vissero un'altra ondata evolutiva, ancora più significativa.

Questa esplosione di nuove forme di vita è rintracciabile nelle migliaia di incredibili fossili raccolti nell'ultimo decennio nella formazione di Tiaojishan, nel nord est della Cina. Questi esemplari straordinariamente conservati comprendono fossili di delicati insetti, dinosauri coperti di piume e due dozzine di scheletri di mammiferi, molti dei quali rivestiti di ciuffetti di peli. Circa 160 milioni di anni fa questi animali ebbero la sfortuna di vivere in laghi e boschi colpiti periodicamente da eruzioni vulcaniche, che li

Dal toporagno all'uomo

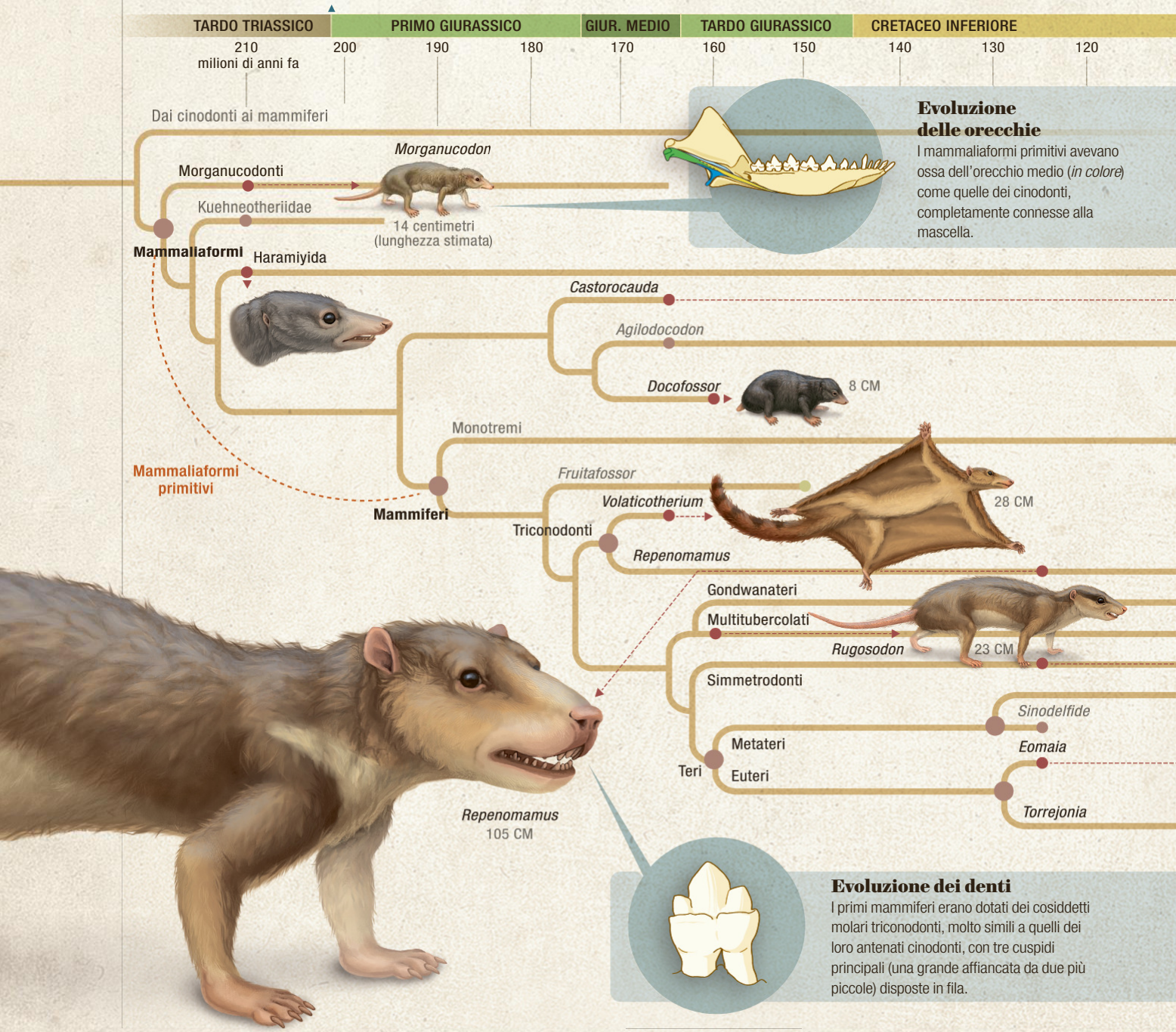
Le recenti scoperte fossili hanno permesso ai ricercatori di ricostruire l'evoluzione dei mammiferi, dai loro umili antenati simili ai toporagni alla straordinaria varietà di forme esistenti oggi, compresi gli esseri umani. Le modifiche della dentatura e delle orecchie dei mammiferi sono state alcune delle innovazioni fondamentali che ne hanno favorito l'affermazione, consentendo loro di occupare nicchie ecologiche di ogni tipo.

Origini modeste

Le prime creature simili ai mammiferi, i mammaliaformi primitivi, comparvero quando i continenti formavano ancora un'unica massa.

Specializzazione precoce

Un tempo i ricercatori erano convinti che l'evoluzione dei mammiferi fosse progredita soltanto dopo l'estinzione dei dinosauri. Prove recenti dimostrano invece che i mammiferi adottarono stili di alimentazione e locomozione diversificati già durante la dominazione dei dinosauri.

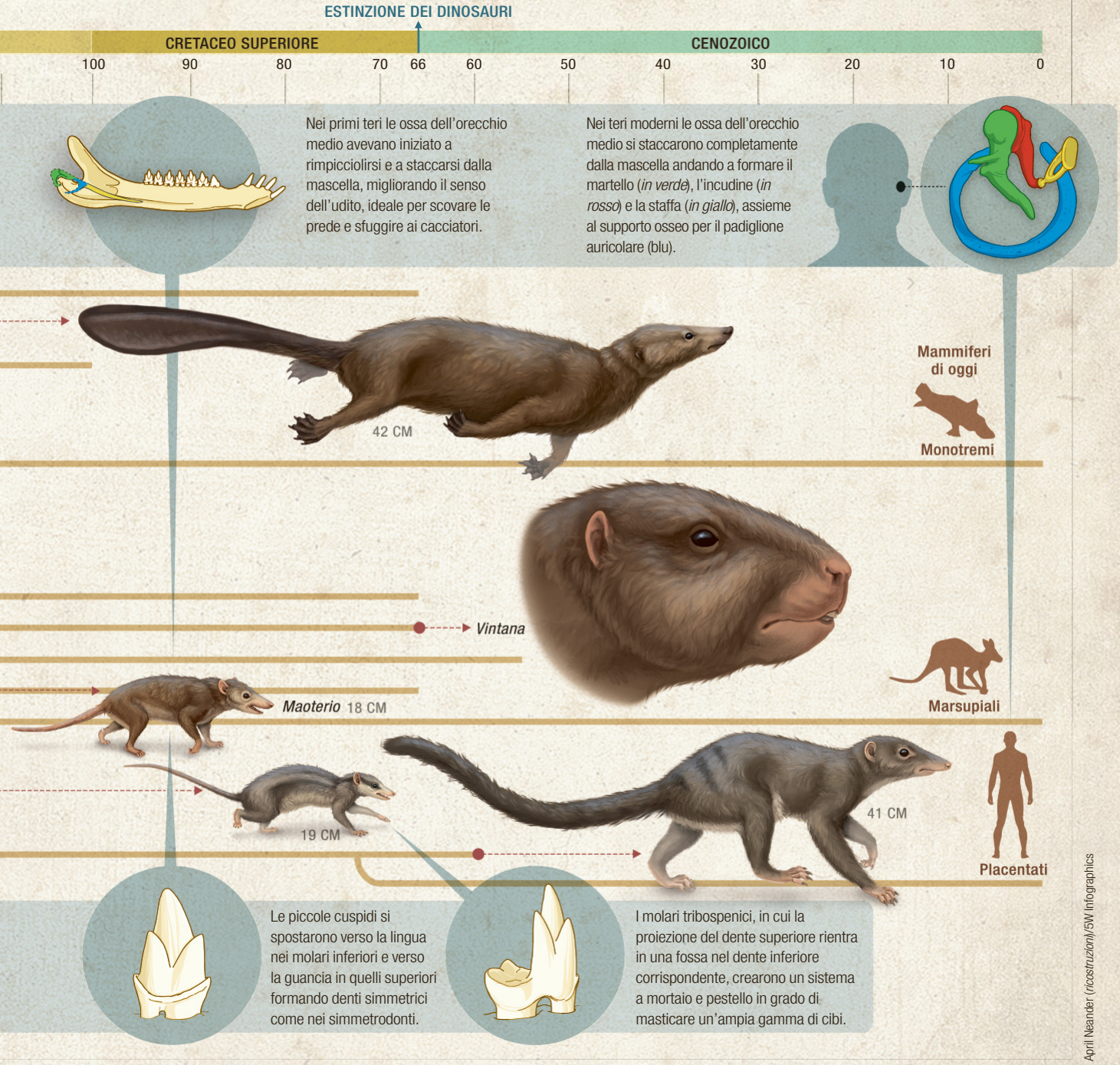


Mammiferi in fiore

L'emergere delle piante da fiore favorì l'evoluzione dei mammiferi teri, il gruppo che include marsupiali e placentati, che mettono al mondo prole giovane già ben sviluppata.

Addio ai dinosauri

Benché i mammiferi abbiano avuto un notevole successo evolutivo già durante l'epoca dei dinosauri, l'estinzione dei grandi rettili permise loro, e ai placentati in particolare, di diversificarsi in modo sorprendente e occupare le nicchie ecologiche rimaste libere.



April Neander (*ricostruzioni*)/SW Infographics

uccisero rapidamente e li seppellirono prima che i loro corpi potessero decomporsi.

Lo studio di questi mammiferi fossili ritrovati in Cina, condotto da Luo e altri ricercatori, ha rivelato che avevano una notevole varietà di forme corporee che permise loro di occupare un gran numero di nicchie ecologiche. *Castorocauda* era una creatura grande quanto una marmotta con zampe palmate e la coda piatta come quella di un castoro: è il più antico mammifero nuotatore a noi noto. *Docofossor* scavava cunicoli sotterranei con le zampe dotate di artigli simili a pale, mentre le articolazioni delle dita erano unite tra loro come nelle talpe dorate che vivono oggi in Africa. *Agilodocodon* era un agile scalatore di alberi che si nutriva di linfa masticando la corteccia degli alberi con i denti a forma di spada. Probabilmente la creatura più strana era *Volaticotherium*, simile a uno scoiattolo volante, che si spostava in volo tra i rami sfruttando le correnti grazie a una membrana che si estendeva tra gli arti. Questi mammiferi specializzati non erano presenti soltanto in Cina. Il *Fruitafossor* del Colorado, descritto da Luo e John Wible del Carnegie Museum of Natural History di Pittsburgh, era uno scavatore e mangiatore di formiche. Nel complesso i fossili di mammiferi giurassici di recente scoperta presentano quasi tutte le principali caratteristiche degli odierni mammiferi di piccola taglia.

Durante il Giurassico medio, tra 174 e 164 milioni di anni fa, il numero di specie di mammiferi aumentò vertiginosamente. Le analisi statistiche condotte da Roger Close, oggi all'Università di Birmingham, che hanno classificato le caratteristiche dello scheletro in una struttura genealogica per calcolare i livelli delle modifiche anatomiche nel tempo, dimostrano che queste specie giurassiche si evolsero fino a due volte più velocemente dei mammaliaformi primitivi del Triassico. Questa accelerazione nei cambiamenti ha posto le basi dell'albero genealogico dei mammiferi, nel quale i rami che portano agli odierni monotremi (che depongono uova) e ai teri (il gruppo più ampio che comprende marsupiali e placentati) divergono, come due fratelli che vadano a formare le proprie discendenze.

Benché molti dei vari mammiferi del Giurassico descritti in precedenza appartengano a discendenze ora estinte, a metà strada tra i monotremi e i teri, essi rimangono comunque di vitale importanza per comprendere le origini dei mammiferi moderni, perché ci aiutano a scoprire la morfologia dei loro antenati. Prima di scomparire, questi rami genealogici ormai estinti fiorirono contemporaneamente ai precursori degli odierni mammiferi durante il Giurassico, e successivamente nel Cretaceo. E sperimentarono molti degli stessi stili di alimentazione e locomozione, convergendo l'uno verso l'altro, come anche negli antenati dei moderni mammiferi, in un vero e proprio turbine evolutivo. I ricercatori sono dunque interessati a scoprire perché queste prime creature specializzate non riuscirono a sopravvivere fino a oggi.

Il potere dei fiori

All'alba del Cretaceo, circa 145 milioni di anni fa, la struttura fisica dei moderni mammiferi si era ormai delineata e i tratti peculiari del gruppo continuavano a essere le grandi dimensioni del cervello e la rapida crescita. Un nuovo cambiamento evolutivo, in apparenza insignificante, era invece destinato a cambiare le carte in tavola: l'avvento dei molari tribosfenici, in cui la proiezione del molare superiore coincide con una fossa nel molare inferiore, e i due denti lavorano in simbiosi per sminuzzare il cibo come un mortaio e un pestello. Questa nuova distribuzione dentale aprì la strada a nuove possibilità alimentari per i mammiferi.

Dotati dei più versatili molari tribosfenici, i teri iniziarono a diversificarsi. Le linee evolutive che avrebbero portato ai principali gruppi di mammiferi odierni – gli euteri che divennero i placentati, e i metateri che evolsero nei marsupiali – si separarono e intrapresero percorsi evolutivi distinti. Resti dei più antichi e primitivi membri di queste discendenze sono stati ritrovati in Cina, dove si muovevano sul fondo delle foreste sotto i piedi dei dinosauri piumati ben 125 milioni di anni fa.

Ma benché questi teri primordiali esistessero già nella prima fase del Cretaceo, il loro momento di gloria sarebbe arrivato più tardi. I teri erano pochi e di piccole dimensioni, raramente più grandi di un gerbillo. Al contrario, alcuni mammiferi leggermente più primitivi denominati triconodonti e simmetrodonti dominarono la scena per i primi 30 milioni di anni del Cretaceo, confermando il loro successo nel Giurassico. Alcune di queste specie comprendevano i mammiferi più grandi di tutto il Mesozoico, come *Repenomamus*, lungo un metro e dal peso di 14 chilogrammi: una creatura grande come un ghiottone che visse in Cina nel Cretaceo inferiore e nel cui stomaco sono stati ritrovati resti fossilizzati di cuccioli di dinosauri.

L'avvento delle angiosperme, piante che producono fiori e frutti, cambiò per sempre il corso della storia dei mammiferi

Poi accadde qualcosa di inatteso, che avrebbe cambiato per sempre la storia dei mammiferi. Emerse un tipo di pianta completamente nuovo: le angiosperme, alberi e cespugli che producono fiori e frutti e compongono gran parte delle specie vegetali odierne, fornendo molti degli alimenti di cui ci nutriamo. Durante la fase intermedia del Cretaceo, le angiosperme colonizzarono i paesaggi di tutto il mondo offrendo ai mammiferi nuove fonti di cibo: i frutti e i fiori che producevano, e gli insetti che se ne nutrivano. I molari tribosfenici dei teri, con la loro doppia funzione di sminuzzamento e taglio, erano gli strumenti perfetti per questi nuovi alimenti, grazie ai quali i teri prosperarono. Nel frattempo i mammiferi con sistemi di dentizione più primitivi, come *Repenomamus*, mangiatore di dinosauri, declinarono, e non sopravvissero oltre il Cretaceo.

Tuttavia, anche con questo nuovo e inaspettato ventaglio di opportunità alimentari di nutrimento, il successo dei teri non era garantito. La concorrenza cresceva. Mentre i teri banchettavano a suon di insetti durante la parte intermedia e finale del Cretaceo, altri gruppi di mammiferi, più primitivi, svilupparono sistemi complessi di dentizione adatti a tagliare e sminuzzare le nuove angiosperme. I continenti settentrionali furono dominati da multituberculati, animali infestanti con denti acuminati simili ai ratti. Nonostante le apparenze, queste creature non erano strettamente imparentate con i roditori, ma la loro struttura fisica si trasformò gradualmente fino ad assomigliare a quella dei roditori perché la loro alimentazione era molto simile. Studi recenti condotti da Gregory Wilson, dell'Università di Washington, e David Grossnickle, dell'Università di Chicago, hanno applicato sofisticate analisi statistiche a grandi database di misure fossili, dimostrando che i multituberculati si diffusero con successo nel tardo Cretaceo, evolvendo in molte diverse specie, aumentando di dimensione e sviluppando molari ancora più complessi in una sorta di danza coevolutiva di pari passo con la diffusione delle angiosperme.

Anche i continenti meridionali furono abitati da specie antagoniste dei teri. I paleontologi sanno ancora molto poco di que-

Un minuscolo arrampicatore. *Agilodocodon scansorius*, un fossile di mammifero scoperto in Cina e risalente a 65 milioni di anni fa, dimostra che l'adattamento alla vita arboricola emerse molto prima di quanto ritenessero gli esperti.

Cortesia Zhe-Xi Luo

sti mammiferi meridionali del tardo Cretaceo, ma alcune nuove scoperte suggeriscono che in quel periodo prosperasse uno strano gruppo di creature: i gondwanateri (che, nonostante il nome, non erano veri e propri teri). Per molti decenni le uniche informazioni disponibili su questi misteriosi animali sono stati denti isolati: molari dalla corona alta il cui smalto si rigenera per tutta la vita, come quelli dei cavalli e delle vacche, ideali per sminuzzare le piante più resistenti. Nel 2014 un team guidato da David Krause dell'Università di New York a Stony Brook ha identificato il primo scheletro di gondwanaterio, appartenente a una specie sino a quel momento ignota chiamata *Vintana*, che visse in Madagascar alla fine del Cretaceo; creature simili a castori che probabilmente si cibavano di alcune delle prime erbe cresciute in quel periodo.

Nuove prospettive dopo la catastrofe

Durante le fasi finali del Cretaceo, circa 66 milioni di anni fa, i mammiferi se la cavavano piuttosto bene, e la loro situazione era indubbiamente migliorata rispetto ai loro esordi nel Triassico. I teri mangiatori di insetti, i multituberculati che si nutrivano di piante e i gondwanateri erano entrati a far parte delle piramidi alimentari dominate dai grandi dinosauri come il *Tirannosauro*. Tuttavia queste creature erano ancora relegate a rimanere nell'ombra, incapaci di imporsi in nuovi habitat. Ma il loro destino (come anche quello di molti altri organismi) cambiò in un istante quando un asteroide piovve dal cielo scatenando un mix di incendi incontrollati, tsunami, terremoti ed eruzioni vulcaniche che cambiarono il volto della terra nell'arco di pochi giorni e settimane. I dinosauri non ressero l'impatto delle catastrofi e dei cambiamenti climatico-ambientali a lungo termine scatenati dall'asteroide: con un battito di ciglia, le maestose creature che avevano dominato il pianeta per oltre 150 milioni di anni scomparvero negli archivi della preistoria.

Anche i mammiferi risentirono dell'estinzione. Le prove del loro declino vengono da un importante programma di studi sul campo (prima guidato da William Clemens, dell'Università della California a Berkeley, e oggi da Wilson), che per cinquant'anni ha meticolosamente raccolto nel Montana fossili risalenti al periodo dell'estinzione. I ritrovamenti dimostrano che molti dei mammiferi più grandi e di quelli con diete più specializzate si estinsero assieme ai dinosauri. I metateri che stavano iniziando a imporsi durante il Cretaceo superiore furono quasi spazzati via, e se non fosse stato per una manciata di specie impavide che sopravvissero alle turbolenze i loro discendenti (i moderni canguri e i koala australiani) non si sarebbero mai evoluti.

Tra gli altri mammiferi che riuscirono a sopravvivere vi furono alcuni dei primi placentati, che come noi danno alla luce giovani esemplari già relativamente sviluppati. Gli studi sull'orologio molecolare, che calcolano il tempo trascorso tra la separazione di due specie sulla base delle differenze di DNA, indicano che gli antenati comuni dei placentati si svilupparono nel Cretaceo contemporaneamente ai dinosauri. Ma fu solo dopo l'estinzione di fine Cretaceo che questi mammiferi avanzati si svilupparono e si suddivisero nei moderni sottogruppi, che comprendono roditori e primati. La ragione della loro improvvisa inversione di rotta è chiara. Con la scomparsa di tirannosauri, triceratopi e simili, i placentati avevano lo spazio per affermarsi ed evolversi nuovamente riempiendo le nicchie disponibili.

Benché si sospetti da tempo che la fine dei dinosauri sia stata decisiva per l'ascesa dei mammiferi, oggi capiamo più a fondo il ruolo che ha svolto: in particolare sappiamo che è stata la scintilla che ha dato vita a una rivoluzione dei placentati. Come tutte le rivoluzioni, anche questa si è verificata molto rapidamente, nell'ordine di alcune migliaia di anni: una bazzecola in termini geologici. Uno di noi (Brusatte) ha condotto studi sul campo nel New Mexico per approfondire i vari aspetti di questo momento fondamentale dell'evoluzione: da quali mammiferi sopravvissero alla catastrofe a quali diete e comportamenti aiutarono i sopravvissuti in questo scenario post-apocalittico. I calanchi striati della Nacimiento Formation forniscono le informazioni più dettagliate al mondo sullo sviluppo dei mammiferi dopo l'estinzione dei dinosauri. Thomas Williamson, del New Mexico Museum of Natural History and Science, ha esaminato queste rocce per oltre 25 anni, raccogliendo diverse migliaia di fossili, che ricorda singolarmente con incredibile precisione grazie alla sua straordinaria memoria fotografica. I fossili comprendono mascelle e denti appartenenti a una miriade di specie animali, dagli insettivori grandi come un toporagno ai carnivori dai denti affilati, fino agli erbivori grandi come bovini. Questi animali vissero per soli 500.000 anni dopo la caduta dell'asteroide, il che dimostra con quanta rapidità i placentati si diffusero nel pianeta una volta avuta l'opportunità.

È grazie al loro successo che noi umani possiamo raccontarne la storia. Tra i placentati scoperti da Williamson nel New Mexico, vi è lo scheletro di un essere grande come un cucciolo di cane, chiamato *Torrejonia*, con arti snelli, lunghe dita e alluci. Visse circa 63 milioni di anni fa, ma guardando il suo scheletro aggraziato è facile immaginarlo mentre saltella tra gli alberi, usando i magrissimi alluci per aggrapparsi ai tronchi. *Torrejonia* è uno dei primati più antichi a noi noti, e un nostro lontano parente. Sarebbero stati necessari altri 60 milioni di anni circa per trasformare i piccoli protoprimati in scimmie bipedi in grado di camminare e pensare. Si aprì così un altro capitolo del viaggio evolutivo dei mammiferi, iniziato 200 milioni di anni fa e tuttora in corso. ■

PER APPROFONDIRE

The Origin and Early Evolution of Metatherian Mammals: The Cretaceous Record, Williamson T.E., Brusatte S.L. e Wilson G.P., in «ZooKeys», articolo n. 465. Pubblicato on line 17 dicembre 2014.

An Arboreal Docodont from the Jurassic and Mammaliaform Ecological Diversification, Meng Q., Ji Q., Zhang Y., Liu D., Grossnickle D.M. e Luo Z., «Science», Vol. 347, pp. 764-768, 13 febbraio 2015.

Che cosa uccise i dinosauri, Brusatte S., in «Le Scienze» n. 570, febbraio 2016.

GENETICA

Geni umani per ambienti

Lo studio di genomi di popolazioni umane ambientatesi in aree tra le più inospitali della Terra può fornire indicazioni preziose sulla nostra evoluzione e per eventuali trattamenti di malattie

estremi

di Matteo Fumagalli e Luca Pagani

Lunga via in ipossia. In cammino lungo l'altopiano del Tingri, in Tibet, a oltre 4000 metri sul livello del mare, un esempio di adattamento umano ad ambienti estremi. In questo caso è l'ossigeno a scarseggiare.

Luca Pagani è *postdoctoral fellow* al Dipartimento di archeologia e antropologia dell'Università di Cambridge. I suoi studi riguardano antropologia molecolare e genetica di popolazione.

Matteo Fumagalli è *postdoctoral fellow* all'Istituto di genetica dello University College di Londra. I suoi interessi di ricerca riguardano biologia computazionale e genomica evolutiva.

Forse per eccesso di autocoscienza o per un pizzico di arroganza, sentiamo spesso ipotizzare che l'umanità abbia smesso di evolversi. È davvero così? Ovviamente, dati i lunghi tempi dell'evoluzione e l'impossibilità di prevedere il futuro, una conferma o meno di un rallentamento dell'evoluzione della nostra specie non è possibile. Tuttavia, osservando i vari gruppi umani contemporanei sembrerebbe che, come per altre forme di vita, l'evoluzione biologica non sia un «tendere verso», quanto l'essenza vera e propria dell'esistenza.

La teoria dell'evoluzione, come descritta da Charles Darwin e in seguito affinata da altri scienziati, si basa sul concetto che mutazioni nel DNA di un organismo emergono principalmente in modo casuale. Tuttavia il fatto che nel tempo queste mutazioni scompaiano oppure diventino più frequenti in una popolazione dipende dal loro effetto sul portatore. La selezione naturale agisce infatti su alcune varianti genetiche che, quando esposte ad ambienti differenti, possono conferire agli individui che le recano un vantaggio riproduttivo. A sua volta questo vantaggio contribuisce alla propagazione di queste stesse varianti, poiché garantiscono un migliore adattamento della progenie a un nuovo ambiente.

Ma c'è anche il rovescio della medaglia. Se una specie non è esposta a cambiamenti ambientali, questa spinta adattativa risulta meno preponderante e come risultato il patrimonio genetico di quella specie raggiunge una sorta di «equilibrio evolutivo».

La nostra di specie, *Homo sapiens*, oltre a questa potenziale possibilità di equilibrio evolutivo, può contare sulla propria cultura come ulteriore forza stabilizzatrice del proprio patrimonio genetico. È facile pensare alla capacità di produrre energia tramite combustione, a capi di vestiario, vaccini, antibiotici, agricoltura e allevamento come a conquiste capaci di migliorare qualità della vita e sopravvivenza di una comunità; o ancora pensare a occhiali da vista o supporti prostetici come ad alcuni degli strumenti in grado di aumentare drasticamente le probabilità di sopravvivenza di singoli individui altrimenti «svantaggiati».

Negli ultimi 10.000 anni però (recentemente, in termini evolutivi), l'umanità ha affrontato condizioni ambientali che non potevano essere neutralizzate o attenuate con soluzioni tecnologiche. In particolare la ridotta disponibilità di ossigeno ad altitudini elevate o le temperature estreme sia calde sia fredde sono tra le condizioni ambientali a cui finora le risposte culturali non possono porre rimedio, se non per brevi periodi. Non sorprende quindi

IN BREVE

La nostra specie si è evoluta in Africa quasi 200.000 anni fa, e da allora è andata alla conquista della Terra, colonizzando ambienti diversi da quello di nascita, alcuni anche estremamente inospitali.

Gli esseri umani si sono adattati a condizioni di ossigeno scarso, a temperature assai calde e assai fredde, per esempio, e anche a profondi mutamenti nell'alimentazione.

Questi adattamenti hanno lasciato tracce nei genomi, ovvero variazioni genetiche che oggi vengono individuate dagli scienziati. Le variazioni genetiche degli adattamenti ad ambienti estremi fanno luce sulla storia evolutiva della nostra specie.

Questa conoscenza potrà essere utile anche per lo sviluppo di terapie per alcune malattie, soprattutto quelle causate dallo stile di vita.

Pagine precedenti: Galen Rowell/Getty Images

Verso il Polo Nord. Un bambino inuit siede in un igloo a Gjoa Haven, un insediamento di questa popolazione in Canada, oltre il Circolo Polare Artico. L'adattamento degli Inuit alla condizioni artiche è evidente quando si analizza l'impatto della loro alimentazione sulla fisiologia.

che proprio questi stimoli siano responsabili di una buona parte dell'evoluzione «recente» della nostra specie.

Non è necessario raggiungere località esotiche per trovare ambienti estremi. A partire dalla rivoluzione industriale, verso la fine del XVIII secolo, la popolazione mondiale ha cominciato a vivere sempre di più in aree urbane e metropolitane. Oggi oltre la metà dei 7,4 miliardi di abitanti della Terra vive in città. Se da un lato l'urbanizzazione ha migliorato il benessere dell'umanità, dall'altro ha introdotto nuove sfide riguardanti in particolare il sistema immunitario, a causa dell'alta concentrazione di patogeni dovuta al sovrappopolamento, e la regolazione del metabolismo, vista l'introduzione di nutrienti sempre più lavorati (*si veda il box a p. 70*). È legittimo aspettarsi che sistema immunitario e metabolismo siano, mentre scriviamo, sottoposti a pressioni evolutive e che l'umanità del futuro porterà i segni di cambiamenti significativi.

Un discorso a parte andrebbe fatto per cambiamenti innescati da ulteriori modifiche ambientali macroscopiche, per esempio a causa del cambiamento climatico, per poi finire con l'ambiente umano-specifico costantemente modificato da nuove conquiste tecnologiche e digitali. Probabilmente anche questi cambiamenti avranno un ruolo nella nostra futura evoluzione, tuttavia è ancora presto per dire su quali funzioni biologiche potranno incidere.

Qui affronteremo diversi casi di studio cruciali per l'evoluzione della nostra specie: la risposta genetica alla pressione selettiva dei patogeni, l'adattamento umano a condizioni atmosferiche, a diete fortemente ricche di grassi e all'ipossia, ovvero la ridotta disponibilità di ossigeno ad altitudini elevate. Come vedremo, oltre a un valore evolutivo questi esempi hanno anche implicazioni per la salute delle popolazioni analizzate e per le possibili applicazioni pratiche che potrebbero derivare da queste conquiste biologiche.

Adattamenti estremi

La culla della nostra specie è l'Africa subsahariana, dove sono venuti alla luce i più antichi resti di esseri umani. Il fossile più antico di *H. sapiens* è stato scoperto in Etiopia e datato a circa 195.000 anni fa. Durante le antiche migrazioni dall'Africa in Eurasia fino alla colonizzazione della maggior parte delle terre emerse, i nostri antenati hanno dovuto affrontare ambienti nuovi. L'esposizione a nuove condizioni ambientali ha imposto una forte pressione selettiva e ha portato a un'importante riorganizzazione delle caratteristiche genetiche delle popolazioni.

Dall'Africa centrale a quella settentrionale fino all'Europa, climi più freddi e una minore incidenza di luce solare hanno indotto profondi cambiamenti genetici a livello della pigmentazione. Le popolazioni europee hanno mutazioni ad alta frequenza in alcuni geni chiave, come *SLC45A2*, *OCA2* e ≠ il cui effetto è ridurre la produzione di melanina in conseguenza di una minore esposizione ai raggi ultravioletti, come hanno dimostrato Joseph Pickrell, oggi alla Columbia University, e colleghi su «Genome Research» nel 2009. Mentre una pigmentazione scura protegge dagli effetti

Ton Koene photography/Getty Images

I segnali genetici della selezione naturale

Le mutazioni genetiche «neutrali» (*cerchi verdi, a destra*), non conferiscono particolari caratteristiche fenotipiche (*a sinistra*). In media, ciascuno di noi ha un numero elevato di queste mutazioni che ci rendono al contempo simili ma geneticamente diversi l'uno dall'altro. Quando un individuo (*in viola, a destra*) acquisisce una nuova mutazione «adattativa» (*cerchio viola, a destra*), questa cambia il suo fenotipo e aumenta la sua *fitness*, o successo riproduttivo. Di conseguenza, dopo un certo numero di generazioni la frequenza di questa mutazione nella popolazione aumenta, e aumenta anche la frequenza del contorno genetico alla mutazione (*barre viola*). Le regioni genetiche sottoposte a selezione risultano quindi più omogenee delle regioni «neutrali», dato che derivano da un antenato comune: il primo portatore della mutazione adattativa. Confrontando il grado di omogeneità delle varie regioni nel genoma di popolazioni attuali è possibile fare un salto indietro nel tempo e inferire quali zone sono state sottoposte a selezione naturale.

dannosi dei raggi solari, per esempio limitando la suscettibilità ai tumori della pelle, una pigmentazione chiara sembra collegata a una maggiore sintesi di vitamina D, principalmente ottenuta appunto dall'esposizione a raggi ultravioletti.

L'evoluzione umana non si è basata solo su spostamenti geografici ma anche su cambiamenti sociali, il mantenimento di gruppi di individui estesi e collegati tra loro, e di sostentamento, cioè la disponibilità di nuove risorse di cibo. In questo contesto, l'esempio più spettacolare di adattamento genetico dovuto a conquiste culturali, in questo caso la pastorizia, è la persistenza dell'enzima lattasi. Come descritto nel 2013 da Pascale Gerbault dello University College di Londra su «Human Heredity», una mutazione che regola il gene *LCT* responsabile della codifica della lattasi, mutazione diffusa nelle popolazioni europee e mediorientali ma essenzialmente assente altrove, permette di digerire il lattosio, una delle principali fonti di energia del latte, anche durante l'età adulta. L'abilità di metabolizzare il lattosio non solo da piccoli, ma anche da adulti, conferisce un vantaggio in popolazioni la cui dieta è a base di latte e derivati, e la sua recente presenza in Europa è stata confermata nel 2015 da studi sul DNA antico effettuati da Iain Mathieson dell'Harvard Medical School e pubblicati su «Nature».

Se l'ambiente è uno dei fattori che determinano il successo evolutivo di una mutazione, è logico pensare che ambienti «estremi» abbiano un'efficienza maggiore nel selezionare mutazioni adattative. Sicuramente un ambiente ricco di patogeni è considerato estremo da un punto di vista della sopravvivenza. Nonostante i progressi della medicina, la pressione esercitata dalle malattie infettive è ancora oggi molto elevata, basti pensare alle recenti epidemie di Ebola e Zika o alla pandemia in corso di HIV, responsabili di drammatici impatti demografici sulle popolazioni colpite.

Fra queste malattie, la malaria riguarda almeno 500 milioni di persone, per lo più bambini, infettate ogni anno. Inoltre il principale parassita che causa la malaria nell'essere umano, *Plasmodium falciparum*, può evolversi rapidamente per contrastare l'azione dei farmaci antimalarici e ha causato almeno un adattamento genetico noto nell'essere umano, su una variante del gene dell'emoglobina B, indicato con *HBB*.

Fra i gruppi umani contemporanei, le popolazioni prossime al Circolo Polare Artico, per esempio gli Inuit, sono fra quelle esposte a condizioni ambientali più estreme e inusuali per una specie di origine africana come la nostra. In particolare, il freddo estremo di quelle regioni, anche se parzialmente mitigabile con l'uso del fuoco e di abiti isolanti, provoca un maggior dispendio di energie per mantenere la temperatura corporea a livelli fisiologici. Per questo motivo, oltre che per l'oggettiva impossibilità di reperire fonti di cibo alternative, la tradizionale dieta «artica» è caratterizzata da una quantità elevata di carni e soprattutto grassi di origine animale.

Per anni la dieta artica è stata oggetto di ricerche perché, nonostante l'alto tasso lipidico della loro alimentazione, gli Inuit non mostrano segnali di elevata incidenza di malattie cardiovascolari, come invece avviene in altre popolazioni, per esempio gli europei.

Danilo Sossi, su indicazione degli autori

Travel Ink/Getty Images

Aria rarefatta. In cammino sul ghiacciaio vicino al Mera Peak, a quasi 6500 metri sul livello del mare, nella regione nepalese dell'Himalaya. In queste aree le popolazioni umane hanno dovuto affrontare temperature assai basse e una ridotta disponibilità di ossigeno.

Un mondo di adattamenti

La conquista delle aree più remote della Terra, caratterizzate da condizioni ambientali assai diverse e spesso inospitali, ha lasciato tracce nei genomi dei nostri antenati, segni che oggi iniziamo a riconoscere e catalogare, come illustra la mappa qui sotto (in corsivo i geni coinvolti). Gli adattamenti non riguardano solo temperature molto calde o molto fredde, o ancora condizioni di ipossia ad altitudine elevate, entrambe descritte in questo articolo, ma anche la convivenza con patogeni come quelli di malaria e colera, o addirittura con concentrazioni di arsenico elevate nell'acqua.

Questa osservazione può essere spiegata dal fatto che la dieta artica è ricca di acidi grassi polinsaturi di tipo omega-3, provenienti principalmente da oli marini, in contrapposizione ai più comuni (a noi) grassi di tipo omega-6 assunti con carne da mammiferi terrestri. È stato quindi ipotizzato che un bilanciamento a favore di una dieta più ricca di acidi grassi polinsaturati di tipo omega-3 sia un fattore protettivo per malattie cardiovascolari. In effetti, supplementi di acidi grassi polinsaturi di tipo omega-3 nel latte o in integratori alimentari sono ormai in vendita quasi ovunque.

Ma analizzando genomi di Inuit in uno studio di uno di noi (Fumagalli) e colleghi pubblicato nel 2015 su «Science», e di indigeni siberiani in un altro del 2014 pubblicato su «American Journal of Human Genetics» da Florian J. Clemente dell'Università di Cambridge, è stato dimostrato che queste popolazioni hanno mutazioni quasi uniche in geni che regolano l'apporto degli acidi grassi polinsaturi. Queste mutazioni sarebbero state selezionate per essere favorevoli nel bilancio lipidico della dieta artica.

Questo tipo di adattamento trova un parallelo interessante in un'altra «popolazione» che ha colonizzato l'ambiente artico: gli orsi polari. Questa specie si è adattata a vivere a basse temperature e a una dieta all'apparenza non salutare. Mangiando principalmente foche, più della metà del peso di un orso polare è

Le sfide dell'ambiente post-industriale

Maggiore disponibilità di cibo e ridotta presenza di patogeni sono due caratteristiche degli affollati ambienti urbani e costituiscono due nuovi «micro-ambienti estremi» che introducono inedite sfide metaboliche e autoimmuni. Tuttavia l'alta concentrazione di individui, associata alle recenti conquiste nel campo della mobilità globale (aerei, treni ad alta velocità e così via) ci espongono a una nuova sfida evolutiva: le pandemie. Non è un caso che negli ultimi anni queste macro-epidemie si susseguano a ritmo sempre più serrato (basta pensare a SARS, influenza suina e, più di recente, Ebola e Zika).

Questi eventi mostrano come virus ad alto potenziale distruttivo possano beneficiare proprio delle conquiste tecnologiche più recenti per aumentare il loro raggio d'azione e raggiungere nuovi ambienti in cui proliferare. Vista la rapidità di azione e la potenziale letalità di future pandemie, c'è da augurarsi che anche la nostra risposta tecnologica e quella evolutiva non si facciano attendere.

Danilo Sossi; fonte dati: *Strength in Small Numbers*, di Sarah Tishkoff, in «Science», Vol. 349, n. 6254, 17 settembre 2015.

Scenario andino. Donna indigena nella municipalità di Chinchero, sulle Ande del Perù, a quasi 3800 metri sul livello del mare. Anche in questa regione l'ipossia ha avuto un ruolo nella selezione e nell'adattamento degli individui che hanno raggiunto altitudini così elevate.

costituita da grasso. Gli orsi polari hanno quindi valori assoluti del cosiddetto colesterolo «cattivo» cronicamente più elevati di quelli tollerabili dal nostro organismo.

Come fanno a smaltire tutto questo colesterolo? Dall'analisi di quasi 100 genomi di orsi polari e di orsi bruni pubblicata nel 2014 su «Cell», Shiping Liu, del BGI di Shenzen, in Cina e colleghi hanno identificato un corredo di mutazioni uniche negli orsi polari in vari geni chiave per il metabolismo, in particolare in *APOB*, responsabile dello «smaltimento» del colesterolo in eccesso nell'uomo. L'adattamento di specie diverse dalla nostra a una dieta «estrema» può farci capire meglio come funziona la fisiologia umana.

Un'altra forte pressione ambientale è costituita dall'ipossia, la ridotta disponibilità di ossigeno ad altitudini elevate. Per quanto ne sappiamo ci sono almeno quattro macro-popolazioni umane che risiedono da migliaia di anni a oltre 2000 metri sul livello del mare: Etiopi degli altipiani, abitanti del Caucaso, popolazioni himalayane, in particolare gli Sherpa, e popolazioni andine.

A causa della ridotta pressione atmosferica a quelle altitudini, l'aria che a ogni respiro entra nei polmoni è «più vuota». Ovvero, nonostante le proporzioni relative di azoto, ossigeno e anidride carbonica siano simili a quelle ce si hanno a livello del mare, la quantità totale di molecole disponibile a ogni inspirazione si riduce via via che si sale di quota. Il nostro organismo, evolutosi vicino al livello del mare, si trova così a fronteggiare una ridotta disponibilità di ossigeno, elemento essenziale per la vita cellulare. La conseguenza immediata è un aumento della frequenza respiratoria e, in pochi giorni, l'attivazione di una cascata fisiologica, chiamata «acclimatazione», che modifica la composizione del sangue per ottimizzare l'assorbimento del poco ossigeno disponibile.

L'acclimatazione è una soluzione complessa ed efficace, che permette alle cellule del corpo di non morire di ipossia. Tuttavia il protrarsi dello stimolo ipossico comporta nel medio termine un deterioramento della qualità della vita e delle prestazioni fisiche chiamato comunemente «mal di montagna», e non può essere mediato da adattamenti culturali, a meno che non si disponga di bombole di ossigeno o di camere iperbariche. Sia l'acclimatazione sia il mal di montagna possono essere rilevati tramite indicatori fisiologici come, per esempio, la concentrazione di emoglobina nel sangue. Per molte di queste popolazioni montane gli indicatori sono anomali, nel senso che in alcuni casi i loro livelli di emoglobina non sono più elevati rispetto a quelli di popolazioni di pianura: come se questi individui non si fossero acclimatati.

Si è quindi pensato che, vista la lunga esposizione a uno stimolo

Frans Lemmens/Getty Images

ambientale tanto forte e visti gli effetti collaterali dell'acclimatazione, queste popolazioni potrebbero aver sviluppato un meccanismo adattativo genetico, cioè non basato su una semplice plasticità fisiologica. Data la complessità del meccanismo di risposta all'ipossia, non tratteremo i dettagli del macchinario genico implicato. Ma a livello intuitivo possiamo pensare a due modi fondamentali per ovviare al problema della mancanza di ossigeno: aumentare l'efficienza del trasporto di questa molecola nel sangue o aumentare l'efficienza del metabolismo aerobico, che consuma ossigeno, nelle cellule. Entrambe le ipotesi sono state usate in studi genetici sempre più avanzati su queste popolazioni. Si è partiti da una lista di geni candidati, che per la loro funzione nota potessero avere un ruolo in uno dei due meccanismi ipotizzati, per arrivare in anni recenti ad analizzare il genoma di centinaia di individui. Da queste ricerche si è dedotto che tutte le popolazioni studiate hanno sviluppato meccanismi adattativi genetici.

È interessante notare che nelle differenti popolazioni le varianti geniche selezionate sono indipendenti. Questo fenomeno indica probabilmente che le varianti non erano presenti nei progenitori comuni a tutti questi individui ma, al contrario, la selezione ha agito su nuove mutazioni. Nonostante ciò, le ricerche degli ultimi anni hanno scoperto che la selezione naturale ha «premiato» modifiche alle stesse componenti del complesso macchinario di risposta all'ipossia. Questa riproducibilità del segnale genetico osservata in popolazioni diverse ai quattro angoli del globo permette un certo ottimismo riguarda all'affidabilità dei risultati.

Due geni in particolare, *EGLN1* ed *EPAS1*, sono sotto esame in quanto protagonisti della maggior parte degli studi. Versioni mutate del primo sono state rilevate nelle popolazioni tibetane, sherpa, caucasiche e andine. Gli scienziati ritengono che queste versioni mutate abbiano un ruolo nel contrastare l'aumento della concentrazione di emoglobina nel sangue, dovuta all'acclimatazione. Una quantità eccessiva di emoglobina aumenta la viscosità del sangue con il conseguente rischio di problemi circolatori. Se però è opportuno tenere sotto controllo l'emoglobina, è anche vero che una concentrazione elevata di questa proteina è necessaria a contrastare la ridotta disponibilità di ossigeno. Per questo motivo nuovi studi cercano di chiarire quale altro meccanismo adattativo possa bilanciare l'effetto di *EGLN1* mutato.

La storia di *EPAS1* è ancora più interessante. In uno studio pubblicato nel 2014 su «Nature», Emilia Huerta-Sánchez, all'epoca all'Università della California a Berkeley, e colleghi hanno scoperto che tibetani e sherpa nepalesi hanno sviluppato una versione locale di questo gene, implicato con *EGLN1* nella regolazione della quantità di emoglobina in circolo. La cosa più straordinaria è che probabilmente le mutazioni rilevate nella versione himalayana di questo gene non sono di *Homo sapiens*. Queste varianti sono state trovate esclusivamente negli himalayani e nell'unico genoma disponibile dell'uomo di Denisova, una specie di ominide estinto le cui tracce più recenti risalgono a 41.000 anni fa. Sono noti eventi di ibridazione fra esseri umani e denisoviani e al momento si pensa che la copia di *EPAS1* che ha permesso agli himalayani di adattarsi alle altitudini elevate sia stata ereditata dai loro antenati proprio in seguito a un'ibridazione con questa popolazione di ominidi.

Salute e medicina evolutiva

In questo breve viaggio dall'Africa centrale alle campagne Europee fino alle steppe artiche per finire alle vette himalayane abbiamo visto che, nonostante la nostra specie abbia sviluppato soluzioni tecnologiche in grado di attenuare molte pressioni selettive, alcuni ambienti «estremi» pongono sfide adattative ancora irrisolte. Addirittura lo sviluppo stesso della società umana crea nuovi ambienti e, potenzialmente, nuove pressioni selettive.

Oggi e ieri. Altopiano a circa 2000 metri sul livello del mare, nel nord dell'Etiopia. La nostra specie è emersa sempre in Etiopia, circa 200.000 anni fa, in una regione meridionale del paese africano.

Atlantide Phototravel/Getty Images

La potenza di questi studi non si esaurisce però unicamente nel fascino esercitato dalla conoscenza della nostra storia evolutiva. Rilevare l'operato della selezione naturale ci offre uno strumento efficace per capire quali componenti del nostro meccanismo molecolare sono fondamentali e quali possono invece subire modificazioni compatibili con la vita. Queste ultime potrebbero essere oggetto di cure per alleviare o curare malattie che sfruttano gli stessi meccanismi molecolari dei fenomeni adattativi studiati.

Per esempio il nostro organismo non è esposto a ipossia unicamente ad altitudini elevate. Sia durante la gestazione sia in seguito all'interruzione del flusso sanguigno causato da infarto o ischemia i nostri tessuti, in particolare quello cerebrale, sono a corto di ossigeno. Capire come le popolazioni ad alta quota riescono a sopravvivere in una simile carenza di ossigeno può aiutare a sviluppare una terapia mirata. Anche tessuti «maligni» sono esposti a ipossia. Nei primi stadi di crescita, il tumore non è altro che un ammasso di cellule scarsamente vascolarizzato che, quindi, stenta a trovare l'ossigeno necessario per proliferare. Sfortunatamente per l'organismo, le cellule tumorali sviluppano mutazioni e riarrangiamenti capaci di rivascolarizzare l'area e portare nutrimento alle cellule. Anche in questo caso la comprensione del meccanismo di vascolarizzazione collegato all'ipossia potrebbe aprire nuove strade alla lotta contro il cancro.

La nostra eredità evolutiva, però, non dà solo vantaggi. Da un punto di vista biomedico, il mantenimento di mutazioni portatrici di alcune malattie comuni nelle popolazioni moderne potreb-

be essere attribuito a eventi passati di adattamento ad ambienti estremi che oggi non ci sono più. Il caso più clamoroso di questo fenomeno riguarda la crescente incidenza di malattie autoimmuni nel mondo industrializzato. La cosiddetta «ipotesi dell'igiene» è stata formulata alla fine degli anni ottanta dal britannico David Strachan sul «British Medical Journal» appunto per spiegare questa osservazione, e afferma che l'adattamento umano a un ambiente ricco di patogeni è oggi responsabile di uno squilibrio nel nostro sistema immunitario, che a sua volta favorisce l'insorgenza di malattie infiammatorie croniche. Diversi studi hanno mostrato che, paradossalmente, mutazioni oggi associate a una maggiore suscettibilità a diverse malattie autoimmuni (come la celiachia e la malattia di Crohn) e allergie sono presenti ad alta frequenza in popolazioni che hanno subito un drastico cambiamento di pressione evolutiva da parte dei patogeni.

Un altro esempio di come l'evoluzione umana, specialmente l'adattamento ad ambienti estremi, sia strettamente legata all'insorgenza di malattie riguarda la predisposizione all'obesità. L'obesità è una malattia mondiale che grava su salute ed economia dei paesi, dato che è responsabile di un maggior rischio per diabete di tipo 2 e altre sindromi metaboliche. Ovviamente la suscettibilità individuale all'obesità è il risultato di molteplici fattori, inclusi ambiente e stile di vita. Tuttavia il patrimonio genetico di un individuo può spiegare fino al 60 per cento del rischio di insorgenza della malattia. Se queste mutazioni sono così dannose per il portatore, perché sono comuni nelle popolazioni umane e non sono state eliminate dalla selezione naturale?

Per trovare una soluzione a questo dilemma, nel 1962 su «American Journal of Human Genetics» James V. Neel della University of Michigan Medical School formulò l'ipotesi del «gene parsimonioso», secondo cui la prevalenza di malattie legate all'obesità nelle società moderne è conseguenza dell'adattamento dei nostri antenati a continui periodi di carestia. In questa ipotesi, le mutazioni che favorivano un miglior apporto energetico a parità di cibo sarebbero state mantenute ad alta frequenza nella popolazione perché favorevoli. Dato che le carestie sono rare nelle società industrializzate, oggi queste mutazioni conferiscono una maggiore predisposizione all'obesità. Per quanto affascinante, la teoria del «gene parsimonioso» non è stata pienamente validata da un punto di vista scientifico. Nonostante alcuni studi abbiano mostrato che la selezione naturale ha agito su alcune mutazioni associate a disturbi metabolici, altri studi invece non sono riusciti a replicare queste osservazioni su larga scala.

Possiamo quindi dire che il patrimonio genetico della nostra specie è un agglomerato di acquisizioni antiche e recenti. Questa miscela è in equilibrio dinamico, poiché i nuovi microambienti creati dalle nostre conquiste tecnologiche pongono una sfida continua al sistema immunitario, mettendo in discussione strategie adattative un tempo «vantaggiose».

Dunque possiamo ragionevolmente aspettarci che le varie popolazioni umane raggiungano sempre nuovi equilibri adattativi che, se anche non daranno un nuovo volto alla specie umana, renderanno metabolismo e sistema immunitario delle future generazioni compatibili con la vita ai tempi dell'antropocene. ■

PER APPROFONDIRE

Greenlandic Inuit Show Genetic Signatures of Diet and Climate Adaptation. Fumagalli M., Moltke I. e altri, in «Science», Vol. 349, n. 6254, pp.1343-1347, 18 settembre 2015.

High Altitude Adaptation in Daghestani Populations from the Caucasus. Pagani L., Ayub Q. e altri, in «Human Genetics», Vol. 131, n. 3, pp. 423-433, 2012.

Signals of Recent Positive Selection in a Worldwide Sample of Human Populations. Pickrell J.K., Pritchard J.K. e altri, in «Genome Research», Vol. 19, n. 5, pp. 826-837, 2009.

La storia del corpo umano. Lieberman D., Le Scienze-Codice Edizioni, Torino, 2014.

Armi, acciaio e malattie. Diamond J., Einaudi, Torino, 1998.

RISCALDAMENTO GLOBALE

PREVENIRE LE GUERRE DEL CLIMA

Le forze armate degli Stati Uniti si stanno attivando per ridurre il rischio che siccità sempre più gravi, innalzamento dei mari e scioglimento del ghiaccio artico accelerino rivolte in grado di destabilizzare diverse aree del mondo

di Andrew Holland

IN BREVE

Il cambiamento climatico sta accelerando l'instabilità di alcune regioni del mondo e aumentando le minacce in altre. Le forze armate degli Stati Uniti si stanno attivando per prevenire conseguenze che potrebbero mettere a rischio gli interessi statunitensi.

In Africa le forze armate stanno cercando di ridurre i conflitti derivanti da siccità prolungata e perdita di terreni agricoli. Nella regione Asia-Pacifico stanno aiutando i paesi piccoli a riprendersi da gravi eventi meteorologici come le tempeste, in modo che restino abbastanza forti da resistere alle ambizioni della Cina. Nell'Artico stanno promuovendo leggi internazionali che frenerebbero le ambizioni della Russia riguardo a risorse e rotte navali.

Non è chiaro se le forze armate stanzieranno fondi sufficienti per sostenere queste operazioni. E un presidente repubblicano potrebbe mettere fine ai finanziamenti, liquidando il cambiamento climatico come inesistente.

Fotografia di The Voorhes

Andrew Holland è direttore degli studi e *senior fellow* per l'energia e il clima all'American Security Project, *think tank* indipendente sulla sicurezza nazionale. Dal 2007 lavora sulle minacce del cambiamento climatico per la sicurezza e ha testimoniato al Congresso sul futuro degli Stati Uniti nell'Artico.

Negli Stati Uniti, democratici e repubblicani hanno spesso posizioni diverse sui cambiamenti climatici, ma le forze armate statunitensi non intendono aspettare la conclusione del dibattito. Si preparano a un mondo più caldo, che già altera i rapporti geopolitici e potrebbe provocare conflitti armati.

Il Department of Defense (DoD) degli Stati Uniti divide la minaccia in due parti: quella diretta, che riguarda le sue infrastrutture (per esempio le basi navali a fronte dell'innalzamento dei livelli dei mari), e quelle indirette, che riguardano tutto il mondo se le società si destabilizzeranno. Nel primo caso, prepararsi è relativamente facile: basta capire quali sono i punti vulnerabili, quindi rinforzare le infrastrutture o allontanarsi dal pericolo.

Nell'insieme la seconda minaccia è più complicata. Condizioni meteo, governi e società sono sistemi complessi, quindi è difficile prevedere come ciascuno di loro reagirà a temperature più elevate. Fonti attendibili, però, hanno trovato legami chiari: per esempio uno studio del 2015, pubblicato sui «Proceedings of the National Academy of Sciences», ha osservato che il cambiamento climatico ha alimentato l'inizio della guerra civile in Siria rendendo più lunga e intensa una siccità regionale. Questa siccità, insieme al fatto che il governo si sia rifiutato di affrontare la scarsità dei raccolti e la perdita di bestiame, ha spinto centinaia di migliaia di persone a migrare dalle aziende agricole a città come Aleppo e Raqqa. Una volta che a inizio 2011 nel paese sono iniziate le proteste, vi si sono unite molte persone che avevano poco da perdere ed erano risentite nei confronti del governo. I disordini si sono trasformati in guerra civile quando il governo siriano ha cominciato a sparare sui dimostranti, e quella guerra civile ha permesso all'ISIS, lo Stato islamico dell'Iraq e della Siria, di salire alla ribalta e terrorizzare il mondo.

Le forze armate degli Stati Uniti non dicono esplicitamente che il cambiamento climatico sarà causa diretta di guerre, ma lo definiscono «acceleratore di instabilità» o «moltiplicatore di minacce». Queste espressioni compaiono nell'edizione 2014 del *Quadrennial Defense Review*, il principale documento di programmazione del DOD per i quattro anni successivi. Inoltre questa rassegna dà il via alla *roadmap* di adattamento al cambiamento climatico pubblicata sempre dal DOD nel 2014: è un'analisi strategica del modo di cominciare a contrastare le minacce climatiche.

Lo scorso gennaio il DOD ha emesso una direttiva per avvertire i leader di alto livello che devono valutare i rischi posti dal cambiamento climatico e prepararsi ad affrontarli. Una nuova previsione è che l'assistenza umanitaria e la reazione alle catastrofi, limitati a missioni occasionali nel passato, diventeranno parte integrante di quasi ogni spiegamento di forze, dato che il numero di disastri naturali a livello globale è in netto aumento.

Le forze armate non sono diventate all'improvviso un settore di Peace Corps [organizzazione di volontariato gestita dal governo degli Stati Uniti per assistere altri paesi, n.d.R.]: la loro missione è salvaguardare gli interessi statunitensi nel mondo. Proteggere vite umane può evitare che paesi in difficoltà finiscano come Stati falliti. La storia recente ha dimostrato che gli Stati falliti, come Afghanistan e Siria, presentano minacce concrete per la sicurezza degli Stati Uniti perché destabilizzano le regioni e sono terreno fertile per i terroristi che potrebbero minacciare gli statunitensi.

La preoccupazione che il cambiamento climatico alimenti la violenza non è un'esclusiva del DOD. Nell'ottobre 2015 tre ex segretari alla Difesa, due ex segretari di Stato e 40 tra senatori, comandanti militari ed esperti di sicurezza nazionale – sia repubblicani sia democratici – hanno pubblicato una lettera aperta in un annuncio a tutta pagina sul «Wall Street Journal», in cui dichiaravano che il cambiamento climatico sta «rendendo il mondo più instabile, povero di risorse, violento e a rischio di disastri».

Le forze armate sono concentrate su due punti critici dove il cambiamento climatico potrebbe provocare nuovi conflitti: l'Africa subsahariana e la regione Asia-Pacifico. E ne osservano attentamente un terzo, l'Artico. L'elenco potrebbe comprendere anche un quarto scenario, il Medio Oriente, ma al momento per lo U.S. Central Command la preoccupazione maggiore nella regione sono i conflitti in corso in Siria, Iraq, Yemen e Afghanistan.

Africa: siccità e terrorismo

Spesso i geografi definiscono l'Africa il continente più vulnerabile ai disordini provocati dal cambiamento climatico perché la povertà è molto diffusa, gran parte della popolazione dipende da un'agricoltura di sussistenza basata sulla pioggia, il clima può subire variazioni estreme e molti paesi sono mal governati. Sono molto frequenti epidemie, raccolti scarsi, rivalità etniche e religiose e corruzione. È previsto che la popolazione del continente, oggi pari a 1,2 miliardi, cresca rapidamente fino almeno a raddoppiare entro il 2050. Si pensa che aggiungere le pressioni del cambiamento climatico a questa miscela già di per sé pericolosa possa accelerare le minacce già esistenti e far scivolare i paesi fragili verso la guerra.

Anzi, è già successo. Nel nord della Nigeria deforestazione, pascolo eccessivo e aumento del calore dovuto al cambiamento climatico hanno trasformato ciò che una volta era terreno agricolo produttivo e savana in una propaggine del deserto del Sahara. Il lago Ciad ha perso oltre il 90 per cento della sua superficie originale a causa di siccità, cattiva gestione e rifiuti. L'insieme di questi fattori, oltre a un governo nigeriano ritenuto indifferente, ha ridotto in povertà la popolazione locale, portandola a migrare in cerca di sostentamento e sicurezza.

Nel terribile vuoto lasciato da questi fattori si è inserito Boko Haram, gruppo di ribellione islamista violenta. Anche se in origi-

Minacce. La siccità ha indebolito la Nigeria, rafforzando il gruppo terrorista Boko Haram, noto per aver rapito 276 studentesse (*1*). Le tempeste distruttive, come il supertifone Haiyan alle Filippine (2), possono compromettere la resistenza dei paesi del Pacifico alle ambizioni della Cina. La riduzione del ghiaccio artico permette alle navi russe di controllare territori più ampi (3).

Dan Kitwood/Getty Images (*manifestanti*); Edgar Su/Reuters (*distruzione da parte del tifone*); Hannes Rada/Getty Images (*rompighiaccio*)

ne rivolgeva la propria attenzione al nord della Nigeria, a marzo 2015 Boko Haram ha giurato fedeltà all'ISIS, dimostrandosi un'evidente minaccia per alleati e interessi degli Stati Uniti. L'ascesa di Boko Haram è stata alimentata da una reazione a catena: dal cambiamento climatico alla desertificazione, all'insicurezza alimentare, alla migrazione, fino al conflitto.

La missione principale dell'Africa Command (AFRICOM) delle forze armate statunitensi è contenere le minacce esistenti, come Boko Haram, ed evitare che ne emergano altre. (AFRICOM è uno di sei comandi combattenti basati su criteri geografici che le forze armate degli Stati Uniti hanno formato per coprire il mondo. Anche se le direttive vengono dai Joint Chiefs of Staff e dal segretario della Difesa, ogni comando programma la maggior parte delle proprie operazioni.)

Gli scienziati sanno che il riscaldamento in Africa provocherà più eventi meteorologici estremi e meno disponibilità di acqua, e questo porterà a una minore produttività di cibo in luoghi che già lottano contro l'insicurezza alimentare. Inoltre le temperature più calde permettono alle zanzare di diffondersi ulteriormente, aumentando la trasmissione delle malattie. A loro volta queste tendenze potrebbero provocare ancora più povertà e migrazioni, e di conseguenza anche conflitti locali per risorse sempre più scarse, compromettendo la stabilità degli Stati e portando a ribellioni violente che potrebbero far crescere i terroristi. L'intenzione delle forze armate è interrompere questa reazione a catena abbastanza presto da evitare che scoppi una guerra.

Una tra le strategie principali è contribuire a creare governi e istituzioni responsabili, a livello sia nazionale sia locale. Per questo le forze armate devono sapere quali paesi sono più a rischio di conflitti legati al clima, e quindi impiegare risorse per rafforzarli.

A questo scopo il DOD ha finanziato uno studio effettuato nel 2014 dall'Università del Texas ad Austin per il suo programma sul cambiamento climatico e la stabilità politica in Africa, che ha identificato le regioni più vulnerabili del continente. I ricercatori hanno realizzato mappe dettagliate in cui si sovrapponevano le minacce climatiche e di altro tipo, indicando le «zone calde» a maggior rischio di conflitto.

Una di queste era il Burundi, un piccolo Stato in Africa centrale. E, come previsto, qui all'inizio del 2015 è cominciato un conflitto quando il presidente Pierre Nkurunziza ha cercato di ottenere un terzo mandato, sebbene la costituzione ne permettesse solo due. Le proteste e un tentato colpo di Stato hanno provocato la morte di circa 500 persone, e almeno altre 250.000 sono state sfollate. Una miscela di fattori – tra cui il cambiamento climatico – ha reso più probabile il conflitto in un paese già instabile. Ma non è scoppiata una guerra civile vera e propria perché per tutta la durata della crisi l'esercito del Burundi si è mantenuto neutrale. E quella neutralità era dovuta alle forze armate statunitensi, che nel corso di un decennio hanno addestrato, equipaggiato e riformato le forze armate del Burundi.

Dato che gli Stati Uniti non hanno molte truppe di terra o flotte di navi attorno all'Africa, i leader di AFRICOM considerano il proprio ruolo un comando ibrido «civile-militare» che collabora con altre parti del governo statunitense, per esempio la U.S. Agency for International Development, per sostenere le istituzioni militari e governative nei paesi africani. Paradossalmente uno dei modi migliori per evitare che il cambiamento climatico provochi guerre non ha niente a che fare con misure di tipo ambientale.

Il Pacifico: mari tempestosi

Nell'Oceano Pacifico la potenza militare statunitense è tutt'altro che scarsa, e gli Stati Uniti la stanno incrementando. Entro il 2020 il DOD disporrà nel Pacifico il 60 per cento delle truppe di aviazione e marina, contro il 50 per cento circa del 2012.

Lo U.S. Pacific Command (PACOM) deve già affrontare parecchie minacce militari tradizionali, tra cui il ricatto nucleare della Corea del Nord, le dispute sui confini nel Mar Cinese Meridionale e Orientale, le tensioni sullo status politico di Taiwan e l'ascesa del-

la potenza militare cinese. Il cambiamento climatico aggiunge due minacce sovrapposte alle persone che vivono nella zona del Pacifico: tempeste più frequenti e intense provocate da oceani più caldi, accompagnate da un innalzamento dei livelli dei mari. Insieme, questi sviluppi potrebbero minacciare l'esistenza di piccoli Stati insulari come Isole Marshall, Tuvalu o Micronesia. L'innalzamento del livello del mare potrebbe inondare regioni fondamentali per la produzione alimentare come il delta del Mekong, e le mareggiate minacciano la sopravvivenza a lungo termine di grandi metropoli come Shanghai, Giacarta, Manila e Bangkok. Nel 2014, anno che non ha battuto alcun record di frequenza o intensità delle tempeste (contrariamente al 2013 e al 2015), secondo le Nazioni Unite i disastri naturali hanno colpito 80 milioni di persone, provocando danni per quasi 60 miliardi di dollari.

L'obiettivo generale delle forze armate è mantenere pace, libero scambio e diritto internazionale. In questa regione dalla veloce crescita economica, raggiungere questi scopi è impegnativo. Motivi di particolare preoccupazione per i militari statunitensi sono la potenza navale in rapida espansione della Cina e le sue ambizioni, che se non saranno messe in discussione potrebbero permetterle di controllare i mari della zona. Oltre la metà del commercio marittimo mondiale passa dal Mar Cinese Meridionale, dove la Cina sta costruendo basi militari su isole che ha annesso ed espanso fisicamente. Filippine e altri paesi rivendicano territori o diritti su alcune di queste isole, ma i cinesi sostengono che queste terre siano loro.

I fenomeni meteo estremi possono aggravare la povertà, provocando rivolte in grado di destabilizzare le nazioni e permettere l'espansione dei terroristi

Il cambiamento climatico influisce sulla strategia degli Stati Uniti per tessere alleanze nella regione. In caso di disastri naturali come i tifoni, che diventano sempre più intensi a causa del cambiamento climatico, spesso la Marina statunitense è l'unica forza con l'esperienza logistica per arrivare rapidamente, con persone e materiali sufficienti a dare un sostegno determinante subito dopo una catastrofe. La Marina cinese non ne ha le risorse, ed è raro che la Cina fornisca aiuti ai paesi del Pacifico in seguito a calamità. Gli Stati Uniti hanno consolidato le alleanze con gli Stati del Pacifico intervenendo quando ne avevano più bisogno.

Un esempio eclatante è il supertifone Haiyan, che a novembre 2013 ha colpito le Filippine con venti oltre i 300 chilometri orari. In alcuni luoghi la tempesta ha portato l'acqua sulla terraferma a un'altezza di 14 metri sul livello del mare. Con oltre 7000 vittime, Haiyan è stato il tifone più devastante nella storia delle Filippine. Subito dopo la tempesta, le persone avevano disperato bisogno di aiuto. Secondo resoconti attendibili, il Nuovo Esercito Popolare, il braccio armato del Partito Comunista delle Filippine, aveva attaccato i convogli governativi che trasportavano beni di soccorso in zone remote. Nella città di Tacloban otto persone erano state uccise e più di 100.000 sacchi di riso sono stati rubati da un magazzino del governo. La società era sull'orlo del collasso.

Per reagire, Chuck Hagel, allora Segretario della Difesa, ha ordinato al gruppo da battaglia della portaerei USS *George Washington*, che stava facendo scalo a Hong Kong, «di dirigersi a tutta velocità» verso le Filippine. Una volta arrivata la portaerei, 13.000 tra soldati, aviatori e *marines* hanno fornito cibo, acqua dolce e altri beni. La loro presenza ha fermato la violenza nelle strade, tagliando la catena tra cambiamento climatico e conflitti.

Meno di sei mesi dopo il presidente Barack Obama si è recato in visita a Manila per firmare un nuovo accordo di cooperazione rafforzata per la difesa, destinato ad approfondire l'alleanza tra Stati Uniti e Filippine. Senza dubbio un'importante motivazione alla base di questo trattato è stata contrastare le ambizioni della Cina, che rivendica e occupa delle isole nel Mar Cinese Meridionale. Ma la rapida reazione degli Stati Uniti a Haiyan ha ricordato a governo e popolo filippini, storicamente scettici nei confronti dell'impegno militare statunitense, perché sia importante avere la Marina degli Stati Uniti dalla propria parte.

Cementare le alleanze è fondamentale per l'impegno statunitense nel contrastare la Cina in Asia. Nel 2013 l'ammiraglio Samuel Locklear, comandante del PACOM da poco in pensione, ha dichiarato che il cambiamento climatico potrebbe «compromettere l'ambiente della sicurezza» nel Pacifico destabilizzando la regione. Se un alleato degli Stati Uniti vive con la paura del prossimo tifone, è improbabile che investa nelle forze navali necessarie per affrontare le minacce alla sicurezza tradizionali, come l'espansione territoriale di una potenza in ascesa.

Oggi le attività del PACOM includono eventi annuali come il forum di alto livello sulla sicurezza ambientale del Pacifico, il coordinamento delle reti di comunicazione militari e civili, e l'aiuto per collegare e addestrare personale militare, operatori umanitari civili, governi locali e Nazioni Unite. Inoltre le forze armate statunitensi stanno aiutando ad addestrare gli eserciti del Pacifico a combattere e sconfiggere un nemico, anche attraverso esercitazioni su vasta scala con nomi come RIMPAC, Cobra Gold e Balikitan. Le squadre si addestrano in attacchi anfibi, grandi azioni navali e difesa aerea combinata. Adesso queste esercitazioni multilaterali contemplano anche la simulazione di una missione di assistenza umanitaria.

L'Artico: apertura all'aggressione

Diverso è l'impegno degli Stati Uniti nell'Artico, che si sta riscaldando più rapidamente di qualsiasi altro luogo sulla Terra. In meno di dieci anni questo territorio ha subito un cambiamento fondamentale del proprio stato: se prima era un mondo oceanico racchiuso nel ghiaccio, oggi è aperto allo sfruttamento umano. L'estensione del ghiaccio marino si è ridotta a tal punto che adesso sia la rotta marittima del nord sopra la Russia sia il Passaggio a nord-ovest sopra il Canada sono aperti a viaggi ed esplorazione energetica per molti mesi l'anno. In effetti, il rapido scioglimento del ghiaccio marino artico nel 2007 è stato uno dei fattori che hanno stimolato le forze armate a pensare alle implicazioni del clima sulla sicurezza, dato che la Marina statunitense avrebbe avuto un nuovo oceano da pattugliare. Ma la preparazione delle forze armate alle conseguenze del cambiamento climatico sulla sicurezza in questa zona del mondo appare scarsa.

L'Artico è di competenza dello U.S. Northern Command (NORTHCOM), ma ha voce in capitolo anche lo European Command (EUCOM), responsabile di qualsiasi azione militare in cui sia coinvolta la Russia, la potenza dominante nell'Artico. Da vari punti di vista, i comandi affrontano una serie di problemi di sicurezza tradizionali: rivalità tra grandi potenze, rivendicazioni opposte sulle risorse e dispute sulla libertà di navigazione.

È in corso una gara globale per assicurarsi petrolio e gas che, secondo la U.S. Geological Survey, si trovano sotto l'oceano. Le

compagnie di navigazione costruiscono in tutta fretta navi in grado di affrontare l'Artico e viaggiare in cima al mondo. E paesi molto lontani dall'Artico, come Singapore e India, insistono per entrare nell'Arctic Council, l'organizzazione intergovernativa degli otto paesi che confinano con l'Artico o sono proprietari di territori artici, in modo che siano rappresentati i loro interessi.

Di fronte a questa corsa frenetica, nel novembre 2013 il DOD ha delineato una strategia per l'Artico, che punta ad allentare le potenziali tensioni promuovendo la diplomazia e aumentando il potere delle istituzioni transnazionali.

Sulla carta, nell'Artico il diritto internazionale ha una posizione forte; le rivendicazioni territoriali nel Mare Artico sono governate dalla Convenzione delle Nazioni Unite sul diritto del mare (anche se il Senato statunitense non l'ha mai ratificata). L'Arctic Council sta ampliando la propria influenza accogliendo nuovi Stati in qualità di osservatori (che non possono votare né proporre le politiche) come Cina, Italia, Giappone e India.

Il potere delle istituzioni però si ferma qui. Nell'Artico la Marina degli Stati Uniti affronta un concorrente con più risorse e ambizioni: la flotta settentrionale russa. Con base a Severomorsk, sul Mare di Barents, questa flotta è la principale operazione navale del paese, ed esegue esercitazioni periodiche. Gestisce la più grande flotta di rompighiaccio del pianeta e sta costruendo la più grande nave rompighiaccio a propulsione nucleare al mondo.

Gli Stati Uniti mirano a interrompere la catena di eventi che dal cambiamento climatico porta a conflitti in diverse aree del pianeta

In seguito a quelli che sembrano ordini diretti del presidente Vladimir Putin, le forze armate russe hanno creato un comando strategico congiunto per il nord, per proteggere gli interessi del paese nel Circolo Polare Artico. Il comando ha riaperto basi risalenti alla guerra fredda lungo la costa artica russa, tra cui una sull'isola di Wrangel, a quasi 500 chilometri dall'Alaska. E sta ammodernando bombardieri a lungo raggio che potrebbero mettere alla prova le difese aeree di Stati Uniti e Canada nell'Artico. Inoltre vale la pena ricordare che Putin ha mostrato uno scarso rispetto di frontiere e regole internazionali nelle recenti vicende in Ucraina. Anche in tempi recenti, pochi avrebbero previsto che la Russia avrebbe invaso e annesso la Crimea.

Anche la Cina ha dimostrato un crescente interesse verso l'Artico: nel 2012 la sua rompighiaccio *Xue Long* («drago delle nevi») è partita per un viaggio di cui si è molto parlato, arrivando in Islanda attraverso il Passaggio a nord-ovest.

Nonostante queste tensioni, le forze armate statunitensi non vedono la necessità di una presenza navale di superficie a nord dello Stretto di Bering, sostenendo di poter portare a termine la propria missione pattugliando solo con i sottomarini. Ora però questa strategia è messa alla prova da Russia e Cina con le loro vistose manovre nell'Artico. Per contrastarle, gli Stati Uniti potrebbero dimostrare a loro volta una maggiore «presenza» con scali in Islanda ed esercitazioni con gli alleati della NATO. La storia ha dimostrato più volte che quando un paese potente si espande rivendicando più terra, mare o risorse naturali se le altre potenze non reagiscono l'espansione continua finché scoppia una guerra di confine.

Eppure NORTHCOM è restio a espandere la propria presenza nell'Artico, anche per motivi economici: ha dichiarato che le operazioni sarebbero costose. Oggi la Marina statunitense non ha infrastrutture, navi o ambizione politica per operazioni in superficie. La Guardia costiera ha solo due rompighiaccio, di cui una, *Polar Star*, ha quarant'anni. (Anche se il ghiaccio marino si riduce, queste navi sono necessarie perché permettono l'accesso tutto l'anno e perché i flussi del ghiaccio, imprevedibili, potrebbero intrappolare le navi normali.) Durante una visita in Alaska nel settembre 2015, il presidente Obama ha annunciato programmi per costruire una nuova rompighiaccio entro il 2020, ma potrebbe costare oltre 800 milioni di dollari. Viste le tensioni legate al budget federale, dove anche le forze armate stentano a trovare i fondi, nessun ammiraglio ha intenzione di aggiungere una missione nuova e costosa.

Alla luce di questa disparità, le forze armate ritengono forse che diplomazia e cooperazione siano convenienti per assicurare attenzione agli interessi degli Stati Uniti. Questo approccio di basso profilo attira però critiche dall'opposizione in Parlamento. Il senatore repubblicano dell'Alaska Dan Sullivan, membro del comitato per le forze armate, ha sollecitato l'Amministrazione Obama a riservare più risorse militari all'Artico. Di recente ha convinto il Segretario della Difesa Ashton Carter a promettere di sviluppare un piano operativo che determinerà quali forze sarebbero necessarie per difendere con successo gli interessi statunitensi in caso di conflitto in quell'area.

Finora, però, le forze armate non fanno molto per espandere la presenza a nord del Circolo Polare Artico, a fronte di investimenti notevoli dei concorrenti nella regione.

Il prossimo presidente

Agli esperti di politica estera e sicurezza nazionale c'è voluto tempo per convincere i militari a prepararsi al cambiamento del clima. Ma incombe una domanda: questi primi impegni continueranno a gennaio 2017, con un altro presidente? Il fatto frustrante è che il cambiamento climatico resta una questione politica: molti repubblicani non la considerano affatto.

Un'altra domanda impellente è se le forze armate dedicheranno fondi a sufficienza per gli impegni legati al clima. Il metodo adottato con l'Artico non permette di essere ottimisti. La fonte principale di finanziamento per le operazioni di assistenza ai civili da parte del DOD è il programma di aiuto umanitario e contro i disastri all'estero, ma il suo stanziamento annuale si è ridotto fino a 100 milioni di dollari, sebbene la sua missione si sia ampliata.

Alla fine la verità vince sempre: il clima sta cambiando e i comandi militari dovranno affrontarne gli effetti. Senza dubbio, prepararsi in anticipo alle possibili minacce è meglio che reagire quando i fatti sono già avvenuti. Al momento le forze armate non subiranno un attacco a sorpresa dal cambiamento climatico: due dei sei comandi stanno cominciando a prendere di petto la minaccia. Ma è da vedere se basterà per fermare la reazione a catena dal cambiamento climatico ai conflitti. ■

PER APPROFONDIRE

Climate Security Report. Foley C. e Holland A., American Security Project, 2012. **www.americansecurityproject.org/climate-security-report.**

2014 Climate Change Adaptation Roadmap. U.S. Department of Defense, giugno 2014.

Response to Congressional Inquiry on National Security Implications of Climate-Related Risks and a Changing Climate. U.S. Department of Defense, luglio 2015. **http://archive.defense.gov/pubs/150724-congressional-report-on-national-implications-of-climate-change.pdf.**

Siria, i rifugiati del clima. Wendle J., in «Le Scienze» n. 571, marzo 2016.

Dentro una voce

Dedurre l'identità di una persona dalla sua voce con metodi fondati dal punto di vista scientifico è ancora molto difficile, eppure la fonetica forense è usata spesso nelle aule dei tribunali

di Michele Catanzaro, Elisabetta Tola, Philipp Hummel e Astrid Viciano

Michele Catanzaro è dottore in fisica e giornalista freelance. Lavora a Barcellona per «Nature», «El Periódico» e altri media.

Elisabetta Tola è microbiologa, giornalista e comunicatrice scientifica. Dirige l'agenzia di comunicazione FormicaBlu a Bologna.

Philipp Hummel è fisico e giornalista freelance. Lavora a Berlino per diversi media cartacei e on line.

Astrid Viciano è medico e giornalista del supplemento scientifico del fine settimana del «Suddeutsche Zeitung», a Monaco di Baviera.

Questo articolo è stato sviluppato con l'appoggio del Journalismfund.eu

Quando apparvero i video dello sgozzatore mascherato dell'ISIS soprannominato Jihadi John, esperti di tutto il mondo si affannarono ad analizzare la sua voce per identificarlo. La biometria della voce è diventata sempre più importante da qualche anno a questa parte nell'*intelligence*. I documenti rivelati da Edward Snowden indicano che la National Security Agency (NSA) degli Stati Uniti ha analizzato milioni di chiamate telefoniche alla ricerca di indizi. Il sistema è probabilmente analogo al programma Kivox, usato dai *call center* di diverse banche per identificare potenziali truffatori.

Il programma confronta la voce del cliente con quelle che fanno parte di una banca dati di vecchie telefonate, realizzate da persone che, per esempio, hanno richiesto una carta di credito, l'hanno svuotata e sono sparite. Se il programma trova una compatibilità, il cliente viene indirizzato a un operatore specializzato, per evitare la ripetizione della truffa. Le applicazioni commerciali della voce sono vastissime: dalla trascrizione automatica ai sistemi di guida per persone disabili, passando per i programmi per «parlare» con lo *smartphone*.

Disciplina poco brillante

Quanto è solida la base scientifica di queste tecniche? Per capirlo ci si può concentrare su una delle applicazioni principali della «scienza della voce»: la fonetica forense. Serie televisive come *CSI* danno un'immagine idealizzata di questa disciplina. Nel film *Sotto il segno del pericolo* (1994), un esperto ascolta una breve frase registrata e deduce che il parlatore è «un cubano, di 89 anni, educato [...] nell'Est degli Stati Uniti». Poi introduce la registrazione in un supercomputer che la confronta con la voce di un indiziato, sentenziando che c'è «una probabilità del 65 per cento [...] di identificazione». Questa sequenza riassume buona parte dei pregiudizi sulla fonetica forense, che hanno portato a errori giudiziari nel suo uso reale. Scene come queste esemplificano il cosiddetto «effetto CSI», ovvero «le aspettative esagerate da parte dei magistrati rispetto alle capacità delle scienze forensi», spiega Juana Gil, ricercatrice in fonetica forense presso il Consejo Superior de Investigaciones Científicas di Madrid.

La realtà della disciplina è meno brillante. Negli ultimi anni sono apparsi articoli scientifici dai titoli assai eloquenti: *Identificazione per mezzo della voce: una chiamata alla cautela* (conferenza Eurospeech del 2003); *Ciarlataneria nella scienza forense della voce* (su «The International Journal of Speech, Language and the Law», 2007); *Scienza e pseudoscienza nel confronto forense di voci* (su «Science and Justice», 2014). Nel 1999 la Société Françai-

IN BREVE

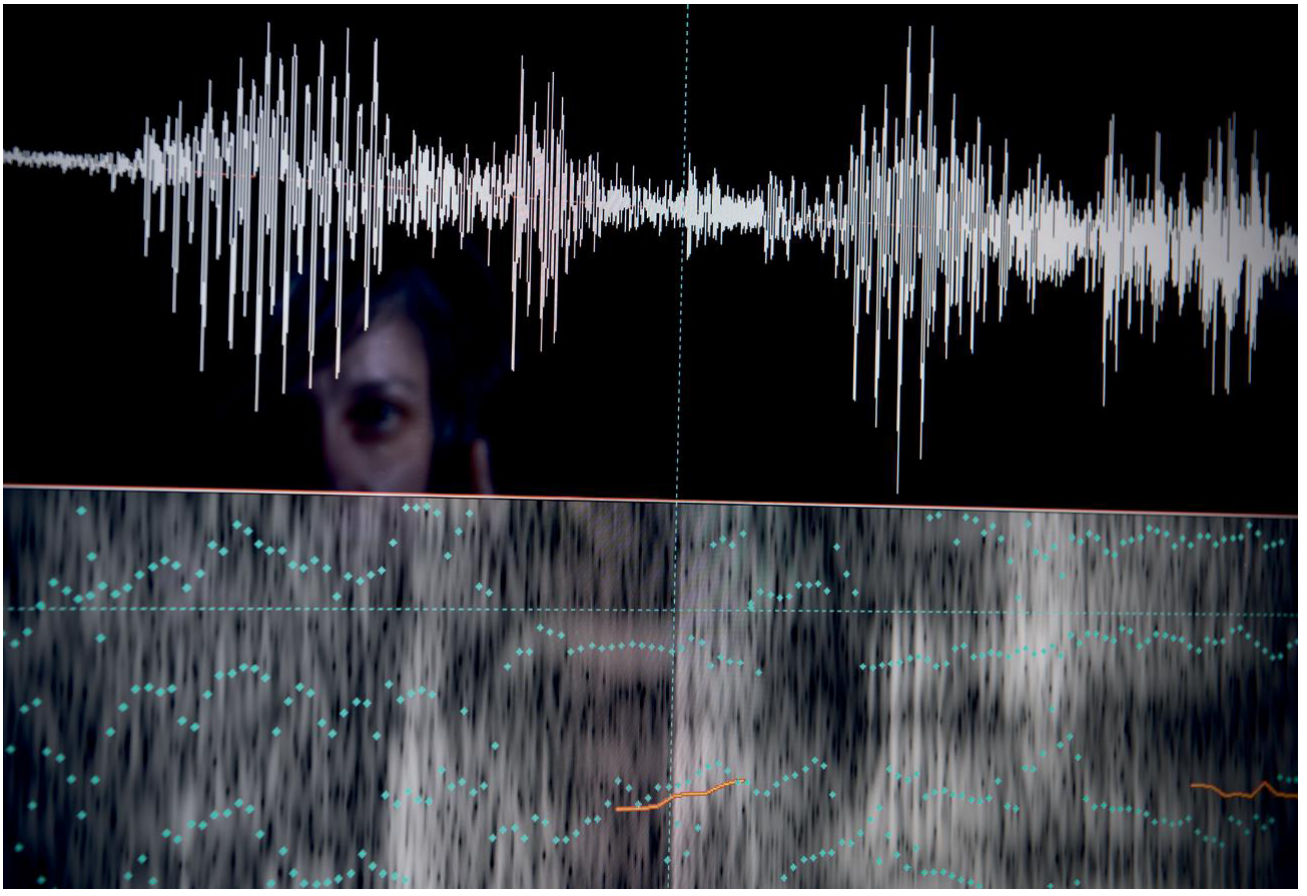
La voce è usata sempre di più come indicatore biometrico da servizi segreti, banche e sistemi domotici. Tuttavia identificare una persona in base alla sua voce è ancora molto difficile.

I limiti della «scienza della voce» sono evidenti in una delle sue principali applicazioni, la cosiddetta fonetica forense. Nello specifico, metodi già screditati in modo scientifico sono ancora usati nei tribunali e sono alla base di alcuni errori giudiziari.

Nella comunità scientifica, c'è divisione fra linguisti e ingegneri. La disciplina della fonetica forense non ha ancora adottato l'approccio statistico impiegato dalle tecniche forensi più avanzate.

La scarsità di banche dati vocali si combina con la mancanza di regole e con gli effetti di privatizzazioni e tagli al settore della giustizia.

Gianluca Battista (*tutte le foto*)



Non troppo scientifico. Un'inchiesta realizzata dall'INTERPOL, organizzazione internazionale di cui fanno parte forze di polizia di numerosi paesi, ha rivelato che la metà degli intervistati usa tecniche il cui valore scientifico è stato smentito da anni.

se d'Acoustique ha richiesto in una dichiarazione pubblica di rinunciare all'uso della fonetica forense nei tribunali. La richiesta si basava sul caso di Jérôme Prieto, un uomo che passò dieci mesi in carcere sulla base di una polemica perizia della polizia, che identificò erroneamente la voce di Prieto in una telefonata che rivendicava un attentato. Effettivamente non mancano diversi preoccupanti esempi di perizie controverse, o direttamente errori giudiziari, come mostra anche Hearing Voices, progetto di giornalismo scientifico sulla scienza forense a cura degli autori di questo articolo.

È impossibile sapere quante perizie foniche sono realizzate ogni anno, dato che nessun paese dispone di un registro. Esperti italiani e britannici stimano che nei rispettivi paesi se ne fanno centinaia ogni anno. Gli incarichi consistono nel trascrivere registrazioni, confrontare una voce intercettata con quella di un sospettato, fare un «confronto all'americana» fra diverse voci, costruire il profilo di un parlante (per esempio nazionalità o dialetto), interpretare rumori o verificare l'autenticità di una registrazione.

Le registrazioni analizzate possono essere intercettazioni telefoniche o ambientali, messaggi di segreteria telefonica, richieste di riscatto, telefonate di truffatori, chiamate alla polizia. Una delle principali difficoltà è la qualità delle registrazioni. «Il segnale telefonico non è sufficiente per distinguere certe consonanti, come *f* e *s* oppure *m* e *n*: ci vorrebbe il doppio di banda di quella telefonica», spiegava Andrea Paoloni, ricercatore presso la Fondazione Ugo Bordoni e referente della fonetica forense italiana, scomparso nel novembre 2015. Inoltre le registrazioni sono spesso rumorose, brevi e, nei processi più lunghi, vecchie di anni o decenni. A volte non è facile realizzare la perizia in condizioni simili a quelle della chiamata: per esempio, simulare una telefonata fatta in un cinema pieno di persone con un cellulare vecchio modello o di una marca straniera.

In un articolo del 1994 pubblicato sui *Proceedings* dell'ESCA Workshop on Automatic Speaker Recognition, Identification, and Verification, l'esperto Hermann Künzel stimava che il 20 per cento delle registrazioni analizzate dalla polizia federale tedesca avevano solo 20 secondi di voce registrata utile. Ciò nonostante, alcuni periti non si fanno problemi a lavorare su registrazioni di qualità scarsissima. Nel famoso processo contro George Zimmerman, la guardia di sicurezza che nel 2012 ha ucciso il giovane afroamericano Trayvon Martin negli Stati Uniti, un perito ha affermato di poter estrarre un profilo e addirittura una trascrizione dalle urla che si sentivano sullo sfondo di una chiamata d'emergenza.

Ma il problema più grave è che gli errori non sono eccezioni isolate. Un'inchiesta realizzata dall'INTERPOL, organizzazione internazionale di cui fanno parte le forze di polizia di 190 paesi, e pubblicata a giugno su «Forensic Science International» ha rivelato che la metà degli intervistati (21 su 44), appartenenti a forze dell'ordine di tutto il mondo, usa tecniche il cui valore scientifico è stato smentito da anni. Per esempio la più semplice e la più antica: il solo ascolto seguito dall'espressione di un parere soggettivo. Per decenni è stato attribuito un valore speciale all'«orecchio al-

Le trappole delle frasi fantasma

Addirittura in un compito apparentemente facile, come trascrivere una registrazione, l'orecchio umano può cadere in fallo. Nel 1994 il neozelandese David Bain ha chiamato la polizia, perché la sua famiglia era stata uccisa. Bain è stato prima condannato per l'omicidio multiplo e poi assolto nel 2009. Un poliziotto aveva riconosciuto, fra gli ansimi della telefonata, una confessione («*I shot the prick*», tradotto «ho ucciso quell'idiota»). In realtà era possibile anche una trascrizione alternativa («*I cannot breathe*», vale a dire «non posso respirare»).

L'esperta australiana Helen Fraser ha realizzato diversi esperimenti in cui espone gruppi di persone a trascrizioni diverse di una stessa frase rumorosa, e ha verificato che ciascun gruppo tende a sentire la frase che gli viene presentata. «Quando hai sentito una cosa, è difficile smettere di sentirla», afferma Fraser. Questo fenomeno, chiamato *priming*, è lo stesso che spiega i supposti messaggi satanici nascosti nelle canzoni rock, o le comiche «parole alternative» di alcune canzoni: per esempio «*Oh, four tuna!*» (tradotto, «Oh, quattro tonni») al posto di «O fortuna!» dei *Carmina Burana* di Carl Orff.

Due scuole. La comunità scientifica non ha raggiunto un consenso sulla tecnica di fonetica forense più efficace, e si sono formate due scuole di pensiero: da una parte i sostenitori dell'uso di programmi con supervisione umana, dall'altra i sostenitori dei sistemi automatici.

lenato» dell'esperto, o all'«orecchio familiarizzato» con il caso del poliziotto, o persino della vittima o dei testimoni.

Nel 1992 il canadese Guy Paul Morin andò in carcere per violenza sessuale e omicidio. Fra le altre prove, la madre della vittima aveva riconosciuto la sua voce. Ma dopo tre anni, la prova del DNA lo scagionò. Questo caso non è sorprendente. Un esperimento effettuato nel 2000 e pubblicato su «Forensic Linguistics» ha esposto un gruppo di volontari che si conoscevano reciprocamente a registrazioni anonime di membri del gruppo. Il tasso di riconoscimento era tutt'altro che perfetto, e in un caso un volontario non riconobbe nemmeno la sua stessa voce.

Questo non vuol dire che qualunque tecnica strumentale sia migliore dell'orecchio umano. Di fatto, la prima tecnica strumentale usata in fonetica forense è oggi screditata, ma alcune sue varianti sono ancora ampiamente usate, secondo lo studio dell'INTERPOL. Si tratta del *voiceprint*, o confronto di sonogrammi. Questo sistema consiste nel confrontare a occhio i sonogrammi di una stessa parola, pronunciata dal sospettato e dal parlatore intercettato. Un sonogramma è un'immagine che rappresenta con diversi toni di grigio le frequenze dello spettro della voce, e la loro evoluzione temporale mentre viene pronunciato un suono o una parola.

La tecnica divenne famosa dopo la pubblicazione di un articolo su «Nature» firmato da Lawrence G. Kersta, ricercatore dei Bell Labs, nel 1962. In Italia fu usata da Oscar Tosi, ricercatore presso la Michigan State University, per affermare che Toni Negri era il «telefonista delle BR» del caso Moro. Ma nel 1979 un rapporto della National Science Foundation decretò che non era scientificamente valida: i sonogrammi non discriminano bene i parlatori e sono molto variabili. «Il sistema dei sonogrammi è stata una bufala storica. Trasportava al confronto di immagini la stessa soggettività dell'ascolto», affermava Paoloni. Ciò nonostante, la tecnica mantiene ancora oggi molto del suo ascendente. Nel 2001 lo statunitense David Shawn Pope è stato scagionato da una condanna per violenza sessuale, grazie a una prova del DNA, dopo aver passato 16 anni in prigione. La condanna si basava, fra le altre prove, proprio su un voiceprint.

Il metodo acustico-fonetico

Al di là dei sistemi esplicitamente screditati, la comunità scientifica non ha ancora raggiunto un consenso su quale sia la tecnica più efficace. «Ci sono due scuole: i linguisti sostengono l'uso di programmi con supervisione umana (tecniche semiautomatiche), ma insistono sull'importanza dell'interpretazione. Gli ingegneri, invece, danno più importanza ai sistemi automatici», spiega Juana Gil.

Le tecniche semiautomatiche, tendenzialmente preferite dai linguisti, sono ancora le più popolari, secondo le diverse inchieste del settore. Queste tecniche sono anche chiamate acustico-fonetiche, perché combinano misurazioni realizzate a orecchio (acustiche) con altre supportate da programmi informatici (fonetiche).

L'esperto che usa questo sistema inizia normalmente ascoltando la registrazione e trascrivendola in alfabeto fonetico. Poi identifica una serie di caratteristiche. Quelle di più alto livello sono di tipo linguistico: lessico, sintassi, uso di intercalare (per esempio, «cioè»), patologie come la balbuzie e così via. L'insieme di queste caratteristiche costituisce l'idioletto, la maniera di parlare specifica di quella persona. Altre caratteristiche di alto livello sono le cosiddette caratteristiche soprasegmentali: qualità della voce, intonazione, numero di sillabe al secondo e così via.

Le caratteristiche di livello più basso, o caratteristiche segmentali, si riferiscono ad aspetti più fisiologici della voce e richiedono l'uso di programmi per essere misurate. La più semplice è la frequenza fondamentale. Se si divide il segnale della voce in finestre di pochi millisecondi, in ciascuna di esse si osserva una vibrazione quasi perfettamente periodica. La frequenza di questa vibrazione è la frequenza fondamentale che corrisponde alla frequenza di vibrazione delle corde vocali ed è quello che si percepisce come il tono di una voce. In cifre tonde, quella degli uomini è attorno ai 100 hertz, mentre quella delle donne è attorno ai 200 hertz, in media. Questa misurazione è facile da realizzare, ma varia poco fra un parlatore e l'altro (variazione interparlatore). Allo stesso tempo, dipende molto dal contesto: per esempio, ci sono notevoli differenze quando un parlatore si arrabbia o alza la voce per farsi sentire al telefono (variazione intraparlatore).

Altre misurazioni segmentali comuni riguardano le formanti vocaliche. Quando si pronuncia una vocale, il canale vocale (gola e bocca) si comporta come un sistema di tubi in movimento, che ha le sue risonanze. Le frequenze di queste risonanze corrispondono alle formanti vocaliche. Queste frequenze si possono disegnare in un grafico, che rappresenta una specie di «spazio delle vocali» caratteristico di ciascun parlatore, e che può essere confrontato con quello degli altri. Altre misurazioni segmentali vanno dall'analisi delle consonanti alla rappresentazione dello spettro del parlato mediato nel tempo.

Nonostante la sua popolarità, il metodo acustico-fonetico ha numerosi problemi. Dato che è semiautomatico, lascia molto mar-

gine alla soggettività dell'esperto: a volte, periti diversi che usano queste tecniche ottengono risultati discordanti tra loro. Inoltre, per la maggior parte delle caratteristiche fonetiche, non c'è abbastanza statistica di popolazione. I valori medi delle frequenze fondamentali di uomini e la loro variabilità sono noti, ma quelli della maggior parte degli altri valori sono sconosciuti. Per questo, gli esperti più rigorosi considerano che non si può mai essere sicuri dell'identificazione fra due parlatori, ma al massimo si può parlare di compatibilità fra voci.

Luci e ombre del sistema automatico

A partire dagli anni novanta è diventato sempre più popolare un sistema che dovrebbe minimizzare gli aspetti soggettivi: il riconoscimento automatico del parlatore (ASR, nelle iniziali inglesi, da *automatic speaker recognition*). Nell'ASR le registrazioni sono elaborate da un programma che estrae un insieme di caratteristiche dai segnali e le confronta fra loro e con quelle di una banca dati di voci. La maggior parte dei programmi tagliano il segnale in brevissime finestre temporali ed estraggono gli spettri corrispondenti. A questi spettri sono applicate trasformazioni matematiche che estraggono parametri, chiamati coefficienti cepstrali, che hanno una relazione con la forma geometrica del canale vocale. Nella misura in cui questa forma è relativamente unica in ciascun individuo, i coefficienti cepstrali rappresentano un modello del parlante. «Quello che facciamo è diverso da quello che fanno i linguisti. Il nostro sistema è molto più preciso, ha una precisione misurabile, ed è riproducibile: due esperti diversi estraggono lo stesso risultato dal sistema», afferma Antonio Moreno, vicepresidente di Agnitio, l'impresa spagnola che produce Batvox, il sistema di ASR più usato, secondo il sondaggio dell'INTERPOL.

Ma i linguisti ribattono. «L'aspetto positivo dell'ARS è che ha meno input umano [...] l'aspetto negativo è che i coefficienti cepstrali [...] riflettono la geometria del tratto vocale umano, ma non siamo così diversi fra noi: quindi il sistema tende a dare falsi positivi», afferma Peter French dell'Università di York, presidente dell'International Association for Forensic Phonetics and Acoustics (IAFPA) e direttore di French & Associates, la principale impresa di fonetica forense del Regno Unito. «Abbiamo confrontato coppie di voci che la macchina identificava come uguali e abbiamo trovato molte differenze, dall'accento a una disfonia perché un parlante era raffreddato», afferma Gil. «Credo che i sistemi automatici dovrebbero essere combinati con l'intervento umano», afferma French, salomonicamente.

Altri esperti sono più radicali nelle loro critiche. «Per il momento l'ASR non ha una base teorica abbastanza solida per essere usata in casi reali», sentenzia Sylvia Moosmüller, ricercatrice in acustica presso l'Accademia austriaca delle scienze. Una delle ragioni principali di questo scetticismo è che la maggior parte dei

La legislazione italiana e quella internazionale

La legislazione italiana in materia forense definisce il giudice come *peritus peritorum* (perito dei periti). «Il giudice attua come se fosse esperto, anche se non lo è: potrebbe anche scegliere la conclusione opposta a quella del perito», spiega Luciano Romito, professore di fonetica all'Università della Calabria. La legge è concepita per evitare che il tecnico si appropri delle prerogative del giudice.

Il Codice di procedura penale prevede che il giudice scelga gli esperti da consultare fra gli iscritti all'albo rilevante per il caso, ma solo «preferibilmente», non necessariamente. Inoltre l'elenco delle competenze previste all'interno degli albi non prevede la figura del perito fonico o linguistico.

In tutti gli ordinamenti giuridici, l'ultima parola spetta sempre al giudice. Ma diversi paesi hanno cercato di mettere ordine nella fonetica forense. Nei Paesi Bassi c'è un registro di esperti accreditati, che sono esaminati periodicamente: i giudici possono scegliere persone esterne al registro, ma devono dare una spiegazione. Nel Regno Unito, nel 2012, quando era primo ministro, David Cameron ha privatizzato il Forensic Science Service. Tuttavia, Cameron ha istituito un'autorità regolatrice che dovrebbe monitorare, valutare e stabilire linee guida per gli operatori privati.

Ma la legislazione più avanzata è quella degli Stati Uniti. Una sentenza della Corte Suprema del 1993 ha stabilito i cosiddetti standard di Daubert (dal nome di una delle parti del processo). Secondo la sentenza (che nell'ordinamento statunitense fa legge), prima di accettare una qualunque perizia, il giudice deve verificare la scientificità della tecnica usata: che sia ampiamente accettata dalla comunità scientifica, replicabile e disponga di una valutazione dell'errore associato al risultato.

Finora i tentativi dell'Unione Europea di aumentare la qualità delle scienze forensi sono falliti. Nel 2005, sull'onda degli attentati dell'11 settembre, è stata approvata la convenzione di Prüm, che stabiliva lo scambio di dati sul DNA e le impronte digitali fra i paesi europei. Ma solo nel 2009 il Consiglio dell'Unione Europea ha preso in considerazione la qualità di quei dati: la decisione 905 di quell'anno ha stabilito che i dati si potevano scambiare solo se erano stati prodotti in laboratori con accreditamento ISO-17025.

Nel 2011 il Consiglio ha approvato delle conclusioni sulla creazione di un'area europea della scienza forense per il 2020. L'idea è estendere a tutte le discipline forensi le garanzie fissate per DNA e impronte digitali. Da allora però non sono stati fatti passi avanti. Anche la commissione tecnica creata presso il Comitato europeo di normazione per fissare standard europei nelle scienze forensi ha gettato la spugna l'anno scorso, in attesa che la ISO fissi nuovi standard internazionali.

programmi di ASR sono addestrati e testati con una base di dati di voci dello statunitense National Institute of Standards and Technologies (NIST). Questa base di dati è uno standard internazionale, ma è composta da voci registrate in studio, che non riproducono tutte le situazioni che possono verificarsi nella realtà, come diverse lingue, stili di comunicazione, canali tecnologici e così via.

«Effettivamente quello che il programma modellizza non è una voce, ma una sessione: ovvero voce, canale e altre condizioni. Per questo fino al 2005-2006 nelle perizie si cercava di simulare la situazione in cui era stata realizzata l'intercettazione», risponde Moreno. Tuttavia in quegli anni, per la precisione nel 2004, hanno fatto la loro comparsa tecniche di compensazione del canale, ovvero, algoritmi che riducono gli effetti delle condizioni di registrazione. Queste tecniche sfruttano gli strumenti matematici della Joint Factor Analysis e degli i-vectors. «Nelle basi di dati NIST, lo stesso parlatore è registrato in molti canali, e molti parlatori diversi sono registrati nello stesso canale. Le tecniche di compensazione sono testate su questa base di dati e permettono di separare le caratteristiche del parlatore da quelle della sessione», spiega Moreno. In altre parole, un programma addestrato in questo modo dovrebbe essere capace di riconoscere uno stesso parlatore in due registrazioni diverse, fatte via telefono fisso e via cellulare, per esempio.

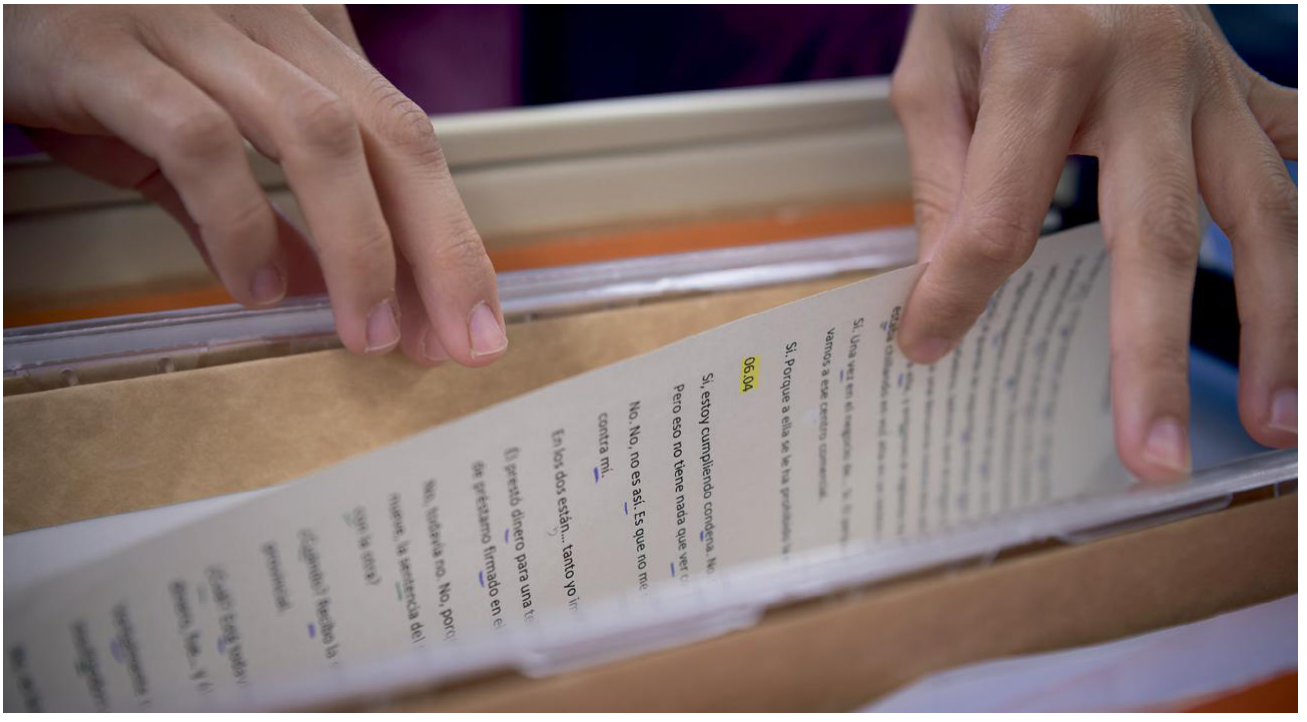
«Non posso escludere che in qualche caso il canale e la voce non siano del tutto ortogonali, però sicuramente la tecnica non peggiora la situazione», afferma Moreno. L'ingegnere ritiene che il riconoscimento automatico del parlatore «è più che pronto per dare risultati validi e permettere che la valutazione forense sia più giusta». Tuttavia ammette che il sistema «è uno dei vari strumenti in mano agli esperti, che si completano fra loro: i laboratori più avanzati hanno gruppi interdisciplinari».

Il problema principale dell'ASR potrebbe non essere nel programma, ma nella persona che lo usa. «Ci vuole qualcuno che conosca la scienza della voce, non basta mettere un operatore qualsiasi davanti a un computer. Questi prodotti sono come un aeroplano: lo puoi comprare da un giorno all'altro, ma non puoi imparare a volare in tre settimane», osserva Didier Meuwly, dell'Istituto di forensica dei Paesi Bassi. «La pressione commerciale spinge i fabbricanti a vendere unità, e quindi finiscono per vendere a clienti che non sono esperti nel confronto forense di voci, e che non usano bene lo strumento che hanno acquistato», afferma Geoffrey Stewart Morrison, professore di linguistica all'Università di Alberta, in Canada. Agnitio offre un corso di tre anni, ma solo il 20-25 per cento degli utenti del centinaio di pacchetti Batvox venduti finora ha completato il corso. Il programma può arrivare a costare fino a 100.000 euro.

Cambio di paradigma

Indipendentemente dal metodo usato, la fonetica forense soffre di un problema scientifico ancora più profondo. In buona misura, questa disciplina non ha ancora realizzato un cambio di paradigma nella visione statistica dei dati che le tecniche più avanzate, come l'analisi forense del DNA, hanno già assunto: il passaggio alla statistica «bayesiana».

Un esempio di questo approccio lo presenta Morrison, che è il portabandiera del nuovo paradigma nell'ambito della fonetica forense nonché coautore dello studio dell'INTERPOL. «Immaginiamo di trovare un'impronta di taglia 43 sulla scena di un delitto, e il sospettato ha la misura 43. In un altro caso troviamo un'impronta di taglia 50, e il sospettato ha la 50. Nel secondo caso, l'indizio contro il sospettato è più forte che nel primo, perché la taglia 50 è più rara della 43», spiega Morrison. In altre parole, non basta limitarsi a misurare la similarità fra due impronte (o fra due voci, o fra



Problema profondo. La fonetica forense deve fare i conti con un problema scientifico profondo. Questa disciplina non ha ancora realizzato un cambio di paradigma nella visione statistica dei dati che invece è avvenuto in altri ambiti forensi come per esempio l'analisi del DNA.

due campioni di DNA e così via), bisogna anche tenere in conto la tipicità di quelle impronte (o voci, o DNA o altro ancora). Quanto è simile l'impronta del sospettato a quella trovata? Quanto è tipica quella taglia di scarpe?

Nel caso della voce, il problema si può formulare in termini statistici come segue. Nell'ipotesi in cui sospettato e criminale siano la stessa persona, qual è la probabilità della somiglianza riscontrata fra le due voci? E nell'ipotesi in cui non lo siano, qual è la probabilità di quella somiglianza? Il rapporto fra queste probabilità è chiamato rapporto di verosimiglianza, o forza dell'evidenza. Quanto più è grande, per esempio voci molto simili e poco tipiche, tanto più forte è l'evidenza.

Un rapporto di verosimiglianza alto o basso fa aumentare o diminuire la probabilità di colpevolezza, ma questa dipende anche dalle altre prove ed evidenze, forensiche o no. Questa è una caratteristica tipica della statistica bayesiana: la probabilità non viene calcolata una volta per tutte, ma viene aggiornata successivamente in base alle nuove evidenze che si scoprono.

Nelle linee guida per la scienza forense pubblicate a giugno 2015, l'European Network of Forensic Sciences Institutes (ENFSI) ha raccomandato di usare sempre il contesto bayesiano, in particolare il rapporto di verosimiglianza. Tuttavia secondo il sondaggio dell'INTERPOL, solo 18 dei 44 intervistati lo usano.

Uno degli ostacoli è la difficoltà di calcolare la tipicità di una voce, perché non ci sono statistiche solide sulla frequenza delle caratteristiche della voce. «Con una banca dati di due milioni di impronte digitali si può stare tranquilli, ma quelle delle voci sono molto più ridotte», osservava Paoloni. Per esempio la banca dati DyVis usata nel Regno Unito comprende solo 100 parlatori maschi, per la maggior parte educati a Cambridge. Moreno assicura tuttavia che le banche dati di alcune polizie, che non sono pubbliche, contengono migliaia di voci e che ci sono banche dati di voci usate per studio che arrivano a centinaia di migliaia di parlatori.

«All'epoca dei *big data*, la via maestra sarebbe organizzare un corpus con tanti dati», sul modello delle grandi piattaforme tecnologiche che offrono servizi *on line*, affermava Paoloni. Dato che non c'è nulla di simile, la ricetta di Morrison è «riunire registrazioni di parlatori appartenenti alle diverse popolazioni di riferimento per ciascun caso: con le caratteristiche demografiche (sesso, lingua, dialetto e così via) e gli stili di parlato (stanco, eccitato, appena svegliato e altro ancora) rilevanti». «Il problema è che molti laboratori dicono che non hanno una banca dati di nessun tipo», afferma Daniel Ramos, ricercatore presso l'Universidad Autonoma de Madrid e collaboratore della Guardia Civil.

Il bilancio sullo stato dell'arte della fonetica forense manifesta i limiti della scienza della voce e suggerisce cautela nella sua applicazione generalizzata. «A mio avviso, con la sola voce non si dovrebbe condannare nessuno», concludeva Paoloni. «*In dubio pro reo*: e nella voce la percentuale di errore è troppo alta per dire "al di là di ogni ragionevole dubbio"». ■

PER APPROFONDIRE

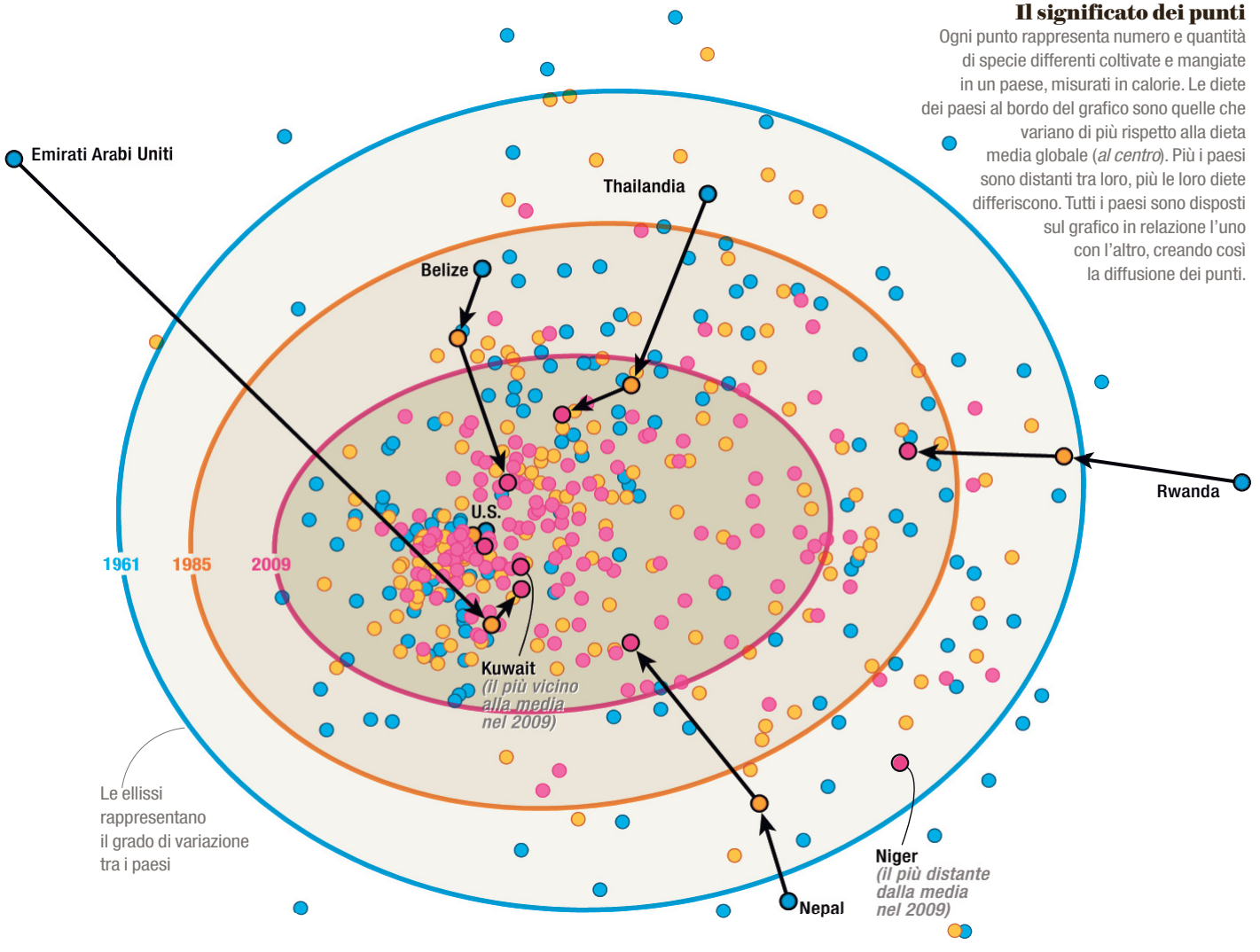
INTERPOL Survey of the Use of Speaker Identification by Law Enforcement Agencies. Morrison G. S., Sahito F. H., Jardine G., Djokic D., Clavet S., Berghs S., Goemans Dorny C., in «Forensic Science International», Vol. 263, pp. 92-100, giugno 2016. **http://dx.doi.org/10.1016/j.forsciint.2016.03.044.**

Forensic Speaker Recognition. Meuwly D., in *Wiley Encyclopedia of Forensic Science*, 2009.

Interpreting Evidence: Evaluating Forensic Science in the Courtroom. Robertson B. e Vignaux G.A., John Wiley and Sons, 1995.

Il sito web del progetto Hearing Voices, con casi, tecniche e legislazione: **http://formicablu.github.io/hearingvoices/en.**

Pagina web di Helen Fraser: **http://helenfraser.com.au/forensic.**



Menù fisso globale

Oggi le diete dei vari paesi del mondo sono più simili tra loro di quanto lo erano in passato

Nel 1961 gli abitanti di paesi distanti tra loro avevano una composizione assai diversa delle rispettive diete (*in blu, sopra*). Nel 1985 queste differenze globali si erano ridotte (*in arancione*) e nel 2009 i pasti quotidiani erano diventati ancora più omogenei (*in magenta*). In quasi cinquant'anni le differenze nei cibi mangiati si sono ristrette. Alimenti di base come il grano sono diventati ancora più dominanti, e colture per olio, come soia, palme e girasoli, sono aumentate in modo netto. Questa convergenza ha un costo, dice Colin Khoury dell'International Center for Tropical Agriculture. Le persone mangiano più alimenti lavorati e prodotti da un piccolo numero di ingredienti, e friggono con l'olio invece di usare il vapore. Sebbene in alcune regioni il risultante aumento di calorie fosse necessario, gli scienziati affermano che obesità, diabete e disturbi cardiaci crescono a livello globale. Inoltre sono preoccupati del fatto che se una coltura dovesse indebolirsi a causa di una malattia o della siccità, i prezzi degli alimenti potrebbero aumentare parecchio e le scorte precipitare.

Mark Fischetti

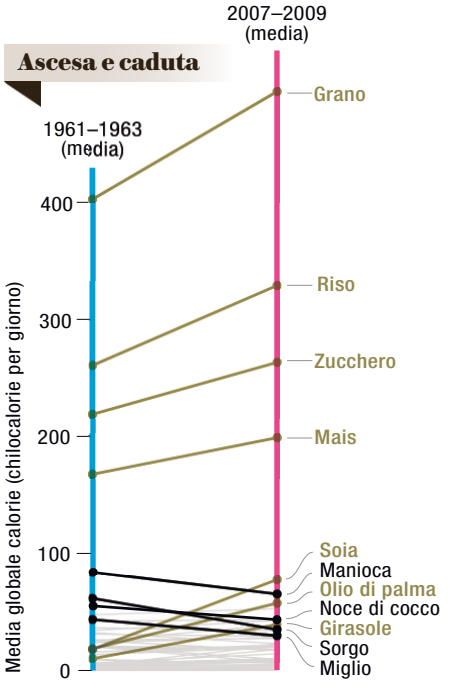


Grafico di Jen Christiansen; fonte: *Increasing homogeneity in global food supplies and the implications for food security*, di Colin K. Khoury e altri, in «Proceedings of the National Academy of Sciences», Vol. 111, n. 11, 18 marzo 2014

di Paolo Attivissimo
Giornalista informatico e studioso della disinformazione nei media

Storie di pazienza e prudenza

Il caso di una bimba «telepatica» è un buon esempio di come procede la scienza

Lettonia, 1935. Il professor Ferdinand von Neureiter, direttore dell'Istituto di medicina forense dell'Università di Riga, pubblica un documento sconcertante: il resoconto delle doti di Ilga K., una bimba di dieci anni affetta da ritardo mentale, che è sostanzialmente analfabeta ma è in grado di leggere il pensiero perché quando il suo insegnante legge in silenzio un libro standole accanto lei ne ripete il testo. Lo fa anche con libri scritti in lingue che non conosce e capta perfettamente i pensieri della madre anche se sta in un altro edificio.

La scoperta, riportata dal «Daily Mail» britannico, fa il giro del mondo: sembra un caso ineccepibile di telepatia, vista la competenza professionale dello scopritore e il fatto che il modesto quoziente intellettivo della bambina esclude ogni possibilità di astuzia o di ricorso a tecniche da illusionista. Ma una commissione di esperti ripete gli esperimenti del professor Neureiter e scopre che la presunta trasmissione del pensiero da un edificio all'altro non avviene e che quando la madre viene messa in una stanza insonorizzata, la bimba non «riceve» più nulla. Un'osservazione pazientissima in varie condizioni rivela che la madre, consciamente o inconsciamente, aggiunge quasi impercettibilmente in coda alle proprie parole d'incoraggiamento le sillabe delle parole che la bimba deve ricevere. La bimba ha sviluppato una sensibilità eccezionale a questi suoni e ai lievi movimenti delle labbra prodotti inconsapevolmente durante la lettura da molte persone, compreso il suo insegnante. Anche il celebre «Journal of Parapsychology», tre anni più tardi, è costretto ad ammettere che in questo caso la telepatia non c'entra.

Ripesco questo caso classico della parapsicologia perché racchiude due temi regolarmente tralasciati dalle persone che si interessano a questo campo. Il primo è che la mancanza di lucro, malizia o malafede non basta da sola a garantire che il fenomeno sia davvero paranormale, perché ci sono persone in assoluta buona fede che manifestano capacità in apparenza scientificamente impossibili. Ilga, per esempio, non era una ciarlatana: era dotata di iperacuità uditiva. E ci sono ricercatori improvvisati le cui indiscusse qualifiche accademiche non li rendono però immuni all'inganno o, in questo caso, all'autoinganno.

Il secondo tema è che la reale natura del fenomeno, nel caso della bambina lettone come in tanti altri, è emersa perché qualcuno non si è accontentato della spiegazione pseudoscientifica e ha voluto indagare a fondo per escludere altre cause. La commissione d'indagine ha creato condizioni controllate, isolando uno per uno i possibili canali di comunicazione convenzionale, e si è rivolta a esperti di fonetica e di comunicazione per sordi. Con la sua pedante e paziente cocciutaggine ha scoperto un fenomeno affascinante: l'iperacuità dei sensi può arrivare a livelli impensabili, che la fanno somigliare alla telepatia.

Uno dei rimproveri più frequenti che riceve chi fa il *debunker* o semplicemente difende il metodo scientifico è di non avere la mente sufficientemente aperta da accogliere idee innovative e rivoluzionarie o modi di pensare differenti.

L'assenza di malafede o la competenza professionale degli «scopritori» non bastano a garantire che un fenomeno sia davvero paranormale

Ma vicende come questa dimostrano che la mente chiusa, a binario unico, spesso è quella della persona che si precipita a spiegare tutto ricorrendo alle vaghe etichette della pseudoscienza, che in realtà non spiegano nulla, invece di fermarsi metodicamente a raccogliere dati, verificare gli assunti, vagliare le ipotesi, progettare e svolgere esperimenti tediosi, e soprattutto chiedersi se è più probabile che tutto quello che sappiamo sull'universo sia sbagliato o che lo sbaglio si annidi nel metodo d'indagine. C'è chi la chiama chiusura mentale e chi invece preferisce chiamarla prudenza.

ZenShui/Alix Minde/Getty Images

di Beatrice Mautino

Biotecnologa, giornalista e comunicatrice scientifica. Tra i suoi libri più recenti, l'e-book *Stamina. Una storia sbagliata* (2014) e *Contro natura*, con Dario Bressanini (Rizzoli, 2015)

La First Lady e il mascara tossico

Lo spirito della legislazione sui cosmetici risale all'America dei Roosevelt

Sono una fanatica delle etichette. Mi piace sapere che cosa mi metto nel piatto, e da quando mi occupo di cosmetici voglio sapere tutto anche di quello che mi spalmo sul corpo. Ma le etichette di creme e shampoo sono diverse da quelle di uno yogurt o di un pacco di riso. Oltre agli ingredienti, capita di trovare avvisi ansiogeni come «evitare il contatto con gli occhi» o «tenere lontano dalla portata dei bambini». Ci saranno sostanze pericolose? Come faccio a sapere se posso fidarmi o no?

Le risposte dobbiamo cercarle indietro nel tempo, nell'America di Eleanor Roosevelt e dei primi mascara. Siamo negli Stati Uniti del 1933. Franklin Delano Roosevelt è appena stato eletto presidente e la Food and Drug Administration (FDA), l'ente governativo che si occupa della regolamentazione dei prodotti alimentari e farmaceutici, ha in mente di emendare il Pure Food and Drug Act del 1906, un insieme di leggi nato per proteggere il consumatore, ma che si stava dimostrando inadeguato e superato, anche perché non contemplava i prodotti cosmetici.

Il caso più eclatante è quello di un mascara, il Lash Lure prodotto da Cosmetic Manufacturing Company di Los Angeles, una poltiglia a base di coloranti derivati dalle aniline che veniva applicata direttamente sulle ciglia (a volte anche strappandole prima e poi incollandole una volta tinte). Il Lash Lure ha provocato ustioni, ulcere, infezioni a molte donne e, in un caso, persino la cecità. La FDA corre ai ripari con una strategia di comunicazione molto aggressiva. Raccoglie in una mostra intitolata *La camera degli orrori* le immagini dei disastri provocati dai cosmetici e invita a visitarla proprio la First Lady Eleanor. La sua reazione di ribrezzo è riportata da tutti i giornali dell'epoca e provoca un crollo delle vendite dei mascara e dei prodotti cosmetici tanto da indurre le principali aziende produttrici a correre ai ripari con campagne pubblicitarie e lettere ai quotidiani.

Ma la popolazione chiedeva più sicurezza e trasparenza: nessuno voleva che si ripetesse la tragedia del Lash Lure e fu così che nel 1938 si arrivò alla formulazione del Federal Food, Drug, and Cosmetic Act, il primo tentativo al mondo di regolamentare il mercato dei prodotti cosmetici.

Negli ottant'anni che ci separano da quel primo provvedimento di cose ne sono successe, ma lo spirito della legge del 1938 è rimasto anche nella legislazione vigente nell'Unione Europea (UE): tutte le responsabilità della sicurezza dei cosmetici fanno capo a chi li produce e mette sul mercato. Nella direttiva 1223 del 2009, la UE stabilisce che i produttori di cosmetici non sono obbligati a svolgere test preliminari all'immissione in commercio (come avviene invece per i farmaci), anzi è vietato loro sperimentare sugli animali sia il prodotto finito sia gli ingredienti, ma devono comunque garantirne l'innocuità «nelle normali condizioni d'uso».

Se i prodotti non sono testati, possiamo stare tranquilli? Abbastanza. Anzitutto, gli ingredienti di base dei prodotti cosmetici sono sempre gli stessi, mescolati e dosati in maniera diversa. Inoltre, le case produttrici possono effettuare (e tutte le grandi marche lo fanno) test su volontari per valutare l'eventuale tossicità a breve e lungo termine di un determinato prodotto. In più, l'Unione Europea ha una politica molto restrittiva e stabilisce le sostanze che è assolutamente vietato usare (circa 1300) e quelle che possono essere usate nonostante siano tossiche (circa 250) in quantità e modalità ben specificate e previa precisa indicazione in etichetta.

Quando trovate frasi come quelle riportate in cima a questo articolo vuol dire che avete a che fare con una di queste sostanze. Se poi, dopo la messa in commercio, dovessero verificarsi problemi o truffe, le istituzioni nazionali e regionali hanno l'autorità per intervenire, ritirare il prodotto e sanzionare la casa produttrice.

L'Unione Europea ha adottato una politica molto restrittiva in materia di cosmetici, che attribuisce la responsabilità della loro sicurezza ai produttori.

Mark Harwood/Getty Images

di Dario Bressanini
chimico, divulgatore interessato all'esplorazione scientifica del cibo.
Autore di *Pane e Bugie, OGM tra leggende e realtà* e *Le bugie nel carrello*.

Ghiaccioli per tutti

Questo gelato è semplice da fare in casa ma la percentuale di zucchero è critica

Per un rifugio temporaneo dalla calura estiva, non c'è niente di meglio di un bel ghiacciolo. Al limone o alla menta – o il mio preferito, all'anice – nei pomeriggi e nelle serate estive trovo che siano anche più efficaci del classico gelato per alleviare un po' il caldo. È la consistenza dei ghiaccioli che li rende così indicati: solidi e duri come il ghiaccio ma cedevoli sotto i denti, è facile riuscire a staccarne un piccolo pezzo che sciogliendosi in bocca dona un rinfresco, seppure temporaneo.

La loro particolare struttura è dovuta alle sostanze disciolte nell'acqua. Quando mettiamo nel congelatore la vaschetta per preparare i cubetti di ghiaccio, piena solo di acqua, otteniamo pezzi molto duri che non si spezzano sotto i denti. Il motivo è che cerchiamo di spezzare un unico cristallo dove le molecole di acqua sono tutte unite in un reticolo cristallino che si estende per tutto il volume. L'acqua di casa contiene impurità, sali e gas disciolti, e quindi il cristallo ottenuto non è perfetto, altrimenti sarebbe completamente trasparente, mentre invece lo è in parte. Avete mai visto dei ghiaccioli trasparenti? No di certo. E questo perché contengono una certa quantità di zuccheri, oltre alle sostanze responsabili dei vari gusti e colori. Sono gli zuccheri disciolti, solitamente saccarosio in percentuali che vanno dal 16 al 20 per cento in peso a donare ai ghiaccioli la loro caratteristica struttura.

Vediamo che cosa succede quando mettiamo nel congelatore una soluzione di zucchero a quelle percentuali. Con una presenza così elevata di impurità le molecole d'acqua non formano un reticolo cristallino unico. Le molecole di zucchero, molto più voluminose di quelle dell'acqua, non riescono a integrarsi nel reticolo cristallino del ghiaccio. Questo fa sì che invece si formino tanti piccoli cristalli di ghiaccio puro che rimangono separati da uno sciroppo di zucchero sempre più concentrato, fino a quando, a circa –14 °C, anche lo sciroppo si solidifica, pronto a sciogliersi quando toglieremo i ghiaccioli dal freezer. Quando mordiamo un ghiacciolo sfruttiamo lo sciroppo di zucchero per separare tra loro i piccoli cristalli di ghiaccio.

Prepararli in casa è facile, a patto di avere gli stampi adatti. Poiché la percentuale di zucchero è critica – poco e otterremo un blocco troppo duro, troppo e avremo una sorta di sorbetto – i più facili da preparare sono quelli in cui congeliamo un infuso pesando lo zucchero da aggiungere. Io li preparo facendo bollire anice stellato, o liquirizia, come se dovessi preparare una tisana, aggiungendo poi 22 grammi di zucchero ogni 100 grammi di liquido. Le possibilità sono infinite e, usando anche le bustine già pronte da infusi, potete creare ghiaccioli decisamente inusuali, dal tè verde alla camomilla allo zenzero.

Anche i ghiaccioli all'arancia o al limone sono semplici da preparare. L'unica difficoltà è che normalmente non conosciamo il contenuto di zucchero già presente nella frutta. Provate a farli a partire da una confezione di spremuta d'arancia confezionata e venduta negli scaffali refrigerati al supermercato: io la compro quando non ho arance da spremere, oppure per pigrizia. Il contenuto di zucchero è riportato sulla tabella nutrizionale. Nel mio caso 10 grammi ogni 100 millilitri di succo d'arancia. Per preparare due o tre ghiaccioli a 100 millilitri di succo aggiungo 100 millilitri di acqua e sciolgo 30 grammi di zucchero. L'acqua diluisce il sapore troppo intenso della spremuta d'arancia pura. Allo stesso modo potete diluire gli sciroppi di menta od orzata.

È importante che i ghiaccioli congelino il più velocemente possibile. Così si formeranno cristalli molto piccoli, dando una struttura fine al ghiacciolo. Per questo motivo gli stampi migliori sono quelli che si possono adagiare orizzontalmente sul fondo del congelatore, in modo da massimizzare la velocità di raffreddamento.

Splendide torbidità. I ghiaccioli non sono trasparenti perché oltre l'acqua contengono zuccheri e altre sostanze responsabili di vari gusti e colori.

Lara Campi/EyeEm/Getty Images

di Rodolfo Clerico, Piero Fabbri e Francesca Ortenzio

Parenti contro ispettori

Si può scappare dall'afa in molte maniere diverse, ma i metodi classici restano sempre i migliori: il mare, per alternare bagni di sole a bagni d'acqua; e la montagna, per sentirsi addosso una pressione atmosferica minore, e sentirsi intorno un cielo più azzurro e un paesaggio più verde. Ed è proprio con lo scenario cromatico suddetto che si crogiolano tre vecchie conoscenze di questa rubrica, tutte con l'aria concentrata e assorta che palesano sempre quando possono finalmente fare quello che preferiscono: oziare.

«Hai voluto venire proprio qui per vedere il lago, Piotr?», chiede Alice, indicando una chiazza d'azzurro a fondo valle.

«Beh, non solo per quello: anche se il fatto che un lago vada svuotato e riempito come un lavandino ogni dieci anni è una cosa che trovo affascinante: fino a poco tempo fa si vedevano ricomparire sul fondo alcune tracce di architettura militare e perfino la vecchia strada napoleonica, ma ormai il livello dell'acqua è tornato praticamente normale. Poi il Moncenisio mi interessava anche per altre ragioni, ero curioso di vederlo».

«Beh – fa Rudy, tirandosi un vecchio cappello sugli occhi – non conosco le tue ragioni, ma approvo l'idea. Al momento sono così rilassato che non mi vengono nemmeno in mente problemi di matematica da proporvi...».

«Diamine, Doc! Questo è un vero miracolo!», ride Alice. «Hai il diritto di scegliere le destinazioni delle gite domenicali per i prossimi vent'anni, se garantisci un risultato del genere».

«Sono quasi senza parole. Per non far cambiare idea a Rudy, sono disposto anche a raccontarvi tutta la storia di questi posti, dagli elefanti alle abbazie...». Probabilmente Piotr sperava di incuriosire i due oziosi, con simili accenni, ma il risultato ottenuto era un quieto e montano silenzio.

«Beh, tanto per cominciare, per lungo tempo si è pensato che Annibale fosse passato proprio di qua, con elefanti e truppe, quando è disceso a fare sfracelli contro Roma, nel 218 a.C.; ma adesso altri passi alpini sono considerati più probabili. Poi, siamo nelle terre della potente Abbazia di Novalesa, e nel bel mezzo della via Francigena: una vera autostrada internazionale, se vista cogli occhi del Medioevo...».

Il silenzio perdura; i racconti di Doc sembrano assumere il lento cantilenare delle nenie alpine.

«... E insomma, adesso, siamo in terra di Francia. I confini sono stati spostati dopo la guerra... Ma in fondo adesso la nostra patria comune è l'Europa...». Ancora silenzio, nonostante l'evidente esortazione a commenti, in tempi di Brexit; «E insomma, tutto qui... A parte il fatto che il Comune di Moncenisio ha detenuto a lungo il record del minor numero di abitanti, anche se al momento dovrebbe essere stato "superato" da Pedesina, che ne conta 36 contro i suoi 37...».

Si ode un lieve rumore: un cappello che risale dagli occhi, forse.

«Vuoi dire che ci sono posti con così pochi abitanti e dotati di un'amministrazione locale?».

«Beh, sì... Di solito le giunte comunali sono di 12 persone. Un amministratore ogni tre cittadini, da queste parti».

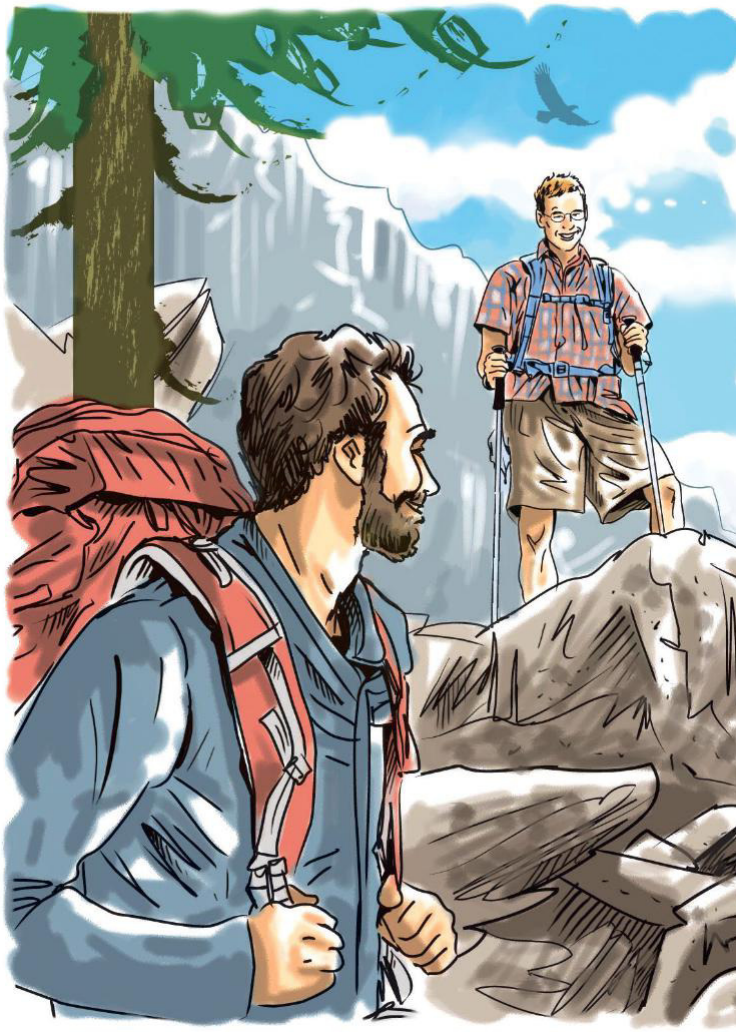


Illustrazione di Stefano Fabbri

«Interessante», fa Rudy.

«Dannazione», fa Alice. «Doc, non potevi fermarti ad Annibale e gli elefanti? Se Rudy dice "interessante", la pace montana avrà vita breve...».

«*Quis custodiet custodes ipsos*?», declama Rudy con enfasi, ormai ben sveglio e armeggiante con la pipa.

«Dannazione», ripete Alice. «Pipa e latino; la pace è finita».

«In effetti, in paesi così piccoli sarebbe un problema... Stavo pensando all'eterno dilemma sul "controllo verso i controllori", elemento fondante e cruciale di ogni buona organizzazione: in paesi così piccoli sarebbe impossibile organizzare una piramide di controllo efficiente. Ma, parlando più in generale...».

Piotr guarda avvilito Alice: «Mi dispiace, Treccia, ma come potevo prevedere...».

Riceve un sibilo in risposta: «Ah, ormai è tardi. La prossima volta, fermati agli elefanti».

La soluzione del problema esposto in queste pagine sarà pubblicata in forma breve sul numero di settembre e in forma estesa sul nostro sito: www.lescienze.it. Potete mandare le vostre risposte all'indirizzo e-mail: rudi@lescienze.it.

In un piccolo paese immaginario l'amministrazione locale vuole combattere la piaga dell'evasione fiscale

IL PROBLEMA DI LUGLIO

Nel numero scorso si parlava di investimenti spericolati in borsa. Nel caso di 11 aziende con il 40 per cento di probabilità di decuplicare il capitale e il compito di ottenere almeno il 60 per cento di probabilità di guadagnare 60.000 euro da un capitale iniziale di 17.000, si può ragionare che 4 aziende su 11 abbiano successo e le altre falliscano: è sufficiente allora suddividere equamente i 17.000 su tutte e 11 le imprese, che comporta circa 1500 euro in ognuna; le quattro che decupliceranno il capitale garantiscono i 60.000 richiesti. Ma si possono anche prendere in considerazione solo 2 delle 11: la probabilità che falliscano entrambe è del 36 per cento, quindi quella che almeno una decuplichi il capitale è del 64 per cento.

Basterà pertanto investire 6000 su due aziende a caso per ottenere la probabilità richiesta di guadagnarne 60.000. Il secondo caso richiedeva di ottenere, dai 17.000 iniziali, una probabilità del 95 per cento di arrivare ad un totale di 100.000, a fronte di 11 aziende con l'85 per cento di probabilità di decuplicazione e il 15 per cento di fallire. Qui si può usare la legge di distribuzione binomiale che mostra che la probabilità di 7 (esattamente) successi è circa 0,13, di 8 è 0,27, di 9 è 0,36 e di 10 è 0,19: quindi la probabilità di almeno 7 successi è effettivamente del 95 per cento. Ergo, investendo in 10 aziende 1430 euro ciascuna, abbiamo il 95 per cento di probabilità di guadagnare 100.100 euro, mantenendo anche una riserva.

«Tanto per dire...», comincia Rudy. «Immaginiamo un paese in cui ci sia un certo numero di evasori fiscali, e che l'amministrazione abbia intenzione di estirpare il reato. Immaginiamo che abbia a disposizione otto ispettori delle tasse...».

«Un bel po', per paesini come Moncenisio e Pedesina – commenta Alice – ma pochini per una città, non ti pare?».

«Libera di ampliare questo numero: sto solo cercando di semplificarti la vita. Ma l'ambientazione è libera e variabile: in paesi molto piccoli potremmo perfino tirare in ballo i parenti stretti del sindaco...».

«Siamo a posto... E a che scopo?».

«Custodire i custodi, non ricordi? L'idea è di usarli per tentare di corrompere gli ispettori, e se gli ispettori accettano il suddetto parente si premurerà di denunciarli al papà... Insomma, all'autorità costituita».

«Si presuppone quindi che i parenti del sindaco siano integerrimi... Non si farebbe prima a dargli direttamente il compito di ispettori?».

«Sei matta? Saresti subito accusata di nepotismo, cuginismo e qualsiasi altro *-ismo* parentale si riesca a inventare. Facciamo un caso: diciamo che tu, novella sindaca, abbia la certezza che esattamente tre dei tuoi otto ispettori sono corrotti, ma non sai chi siano; gli ispettori girano sempre in coppia, si conoscono tra di loro e accetteranno di farsi corrompere se e solo se entrambi nella coppia sono corruttibili. In compenso, puoi organizzare le ispezioni come vuoi, nel senso che puoi dire chi andrà con chi a controllare chi, fermo restando che non puoi mandare due coppie di ispettori, in momenti diversi, dalla stessa persona: ognuno di loro sa benissimo a casa di chi sono andati tutti gli altri».

«Uh, mi pare un giro piuttosto difficile da organizzare...».

«Infatti, la domanda è: di quanti parenti hai bisogno, per individuare i tre lestofanti?».

«Umpf. Non ho voglia di pensarci, mi stavo rilassando... E poi sono sempre problemi troppo teorici. Com'è possibile che un sindaco sappia che ci siano "esattamente tre" ispettori corrotti? Non è credibile...».

«Hai ragione, ma anche stavolta lo facevo per aiutarti. Un caso più realistico è quello in cui il sindaco sappia che gli ispettori corrotti siano "almeno tre"».

«Uhm... La strategia cambia, vero?».

«Diamine se cambia!».

«Fa sempre così, Alice... Prende una scusa piccola piccola, e ne tira fuori un problema – sospira Piotr – e poi da quel problema ne tira fuori altri sette od otto...».

«Ovvio: per esempio, nelle stesse condizioni del secondo caso esaminato, si può ipotizzare che qualche volta i corrotti non chiedano la tangente. Non solo avrebbero dovuto essere in coppia con un corrotto, ma avrebbero anche accettato la tangente solo se nella visita al cittadino precedente (fossero essi nella stessa coppia oppure no) nessuno dei due avesse accettato la tangente. Nei tre casi prospettati, a mio parere, si trovano interessanti e sorprendenti risultati».

«Come no...», ringhia Alice. «Strani e sorprendenti, di sicuro. L'unica cosa strana e sorprendente mi sembra che sia la mia pazienza nel sopportarvi...».

Storie di geni e di genetica

Il pollice del violinista

di Sam Kean

Adelphi, Milano, 2016, pp. 456 (euro 30,00)

Nell'estate 1999 il bioeticista Arthur Kaplan, chiamato come consulente dai legislatori dello Stato della Pennsylvania, rivolse loro una domanda preliminare: «Dove sono i vostri geni?» Per alcuni i geni si identificavano con le gonadi, altri erano sicuri avessero la loro sede esclusiva nel cervello, altri ancora li associavano vagamente a immagini di spirali o roba del genere. Per costoro e per tutti quelli che si sentono ancora un po' disorientati di fronte a domande simili, questo libro è una guida appassionata e appassionante al mondo della genetica, costruita attorno a una folta collezione di storie.

A cominciare dalle storie dei due ricercatori ai quali dobbiamo il merito di averci per primi aperto gli occhi sulle basi della vita: Johannes Friedrich Miescher e Gregor Mendel. Quest'ultimo ci è più noto per la descrizione delle leggi dell'ereditarietà, mentre è di solito meno celebrato il ruolo di Miescher nella scoperta del DNA, che riuscì a isolare analizzando il pus fresco ricco di leucociti recuperato dalle bende dei feriti in un ospedale vicino al laboratorio dove lavorava. E poi figure quasi sconosciute come suor Miriam Michael Stimson, che oltre ad avere l'indubbio merito di aver messo a punto la popolare preparazione H per la cura delle emorroidi, testò un metodo di analisi ai raggi ultravioletti usato poi da Erwin Chargaff e che contribuì a spianare la strada all'idea della doppia elica nelle menti di James Watson e Francis Crick.

Sono tante e piene di *pathos* le storie di questo libro che hanno al centro gli scienziati, dai *flyboys* di Thomas Hunt Morgan che elevarono a modello animale preferito dai genetisti il moscerino della frutta, alle battaglie di Barbara McClintock e Lynn Margulis per far accettare le proprie teorie.

Ma ci sono storie e biografie che Sam Kean – giovane scrittore di scienza statunitense che ha già dato bella prova di sé con *Il cucchiaino scomparso*, dedicato al mondo della chimica – sceglie di raccontare per quello che possono rivelare del nostro DNA. Tsutomu Yamaguchi era uno dei pochissimi *nijyuu hibakusha*, sopravvissuti dopo aver assistito alla deflagrazione di entrambe le bombe atomiche di Hiroshima e Nagasaki (i raggi gamma spaccano il DNA con gravi conseguenze per l'organismo), e l'unico, dopo aver affrontato l'inferno di quell'esperienza, ad aver vissuto fino a 93 anni. Nessuno sa di preciso se e che cosa di speciale potesse avere il DNA di Yamaguchi, ma la sua storia racconta molto della resilienza dei meccanismi molecolari alla base della nostra esistenza.

La variabilità genetica può anche dare un aiuto non trascurabile ai talenti artistici, come nel caso di Niccolò Paganini, il genio del violino al quale allude il titolo del libro. Paganini aveva mani incredibilmente flessibili (riusciva a torcere il pollice e a farlo piegare sopra il dorso della mano fino a toccare il mignolo), e letta con occhi contemporanei la sua biografia ha fatto ipotizzare che fosse affetto da una malattia genetica che riduce la produzione di collagene, una condizione che a lungo andare logora l'organismo e che nel caso di Paganini, complici errate diagnosi e fantasiose terapie a cui venne sottoposto, portò a una morte prematura.

La nostra capacità di leggere e interpretare il DNA ci ha regalato uno strumento molto potente per risalire indietro nel tempo e conoscere il passato dell'umanità e della vita sulla Terra con la paleogenetica. Ma oggi, sottolinea Kean, il DNA è diventato una sorta di oracolo di Delfi dei tempi moderni, da cui ci attendiamo risposte illuminanti sul nostro futuro e di cui ci affatichiamo a interpretare i responsi molto spesso obliqui. Kean racconta la sua ansia, legata al ricordo del nonno malato di Parkinson, quando decise di far sequenziare il proprio genoma, e la difficoltà di saper interpretare con serenità le probabilità di sviluppare una malattia neurodegenerativa.

Per affrontare un futuro ormai prossimo in cui tecniche rivoluzionarie come l'*editing* genetico con il metodo CRISPR-Cas9 (messo a punto proprio nell'anno in cui è stata pubblicata la versione originale del libro) aprono nuovi scenari sulle nostre capacità di intervenire sul genoma umano, libri come questo sono benvenuti per far capire cosa vuol dire fare i conti col nostro DNA.

Marco Motta

Sulle tracce del nostro nuovo cugino africano

Il mistero di Homo naledi
di Damiano Marchi
Mondadori, Milano, 2016,
pp. 166 (euro 19,00)

A settembre 2015 l'annuncio di una nuova specie del genere a cui apparteniamo, *Homo naledi*, era stato accolto con grande entusiasmo e un po' di scetticismo, motivato dalle tante domande che ancora attendono una risposta. Del lontano cugino i cui resti erano stati scoperti nella camera di Dinaledi all'interno del sistema di grotte sotterranee Rising Star, in Sudafrica, colpisce il mix di caratteristiche antiche e moderne che emerge dallo studio della sua struttura ossea, che lo rende una sfida affascinante per i paleoantropologi. Damiano Marchi, unico membro italiano del gruppo che ha studiato i resti di *H. naledi* ed esperto di arti inferiori, ripercorre il lato scientifico e anche quello umano di questa avventura sudafricana.

Miscelando narrazione autobiografica e divulgazione scientifica, l'autore restituisce al lettore l'atmosfera carica di dubbi e di entusiasmo che ha accompagnato l'importante scoperta. Un particolare rilievo viene dato ai due grandi misteri sull'«uomo stella» (questo il significato di *naledi* in lingua sotho): la datazione dei resti, con i relativi scenari che si aprono a seconda delle possibili ipotesi, e l'effettiva esistenza dell'intenzione di seppellirli da parte del nostro cugino africano. Parallelamente il discorso si apre anche a una serie di riflessioni – non meno interessanti delle parti scientifiche – sulla vita accademica al di fuori dell'Italia e sull'organizzazione dei gruppi di ricerca all'estero, che possono essere utili per capire le ragioni del successo della spedizione guidata da Lee Berger sulle tracce di *H. naledi*.

Anna Rita Longo

Un percorso affascinante sull'origine della vita

Dal Big Bang alla cellula madre
di Ernesto Di Mauro e Raffaele Saladino
il Mulino, Bologna, 2016,
pp. 136 (euro 11,00)

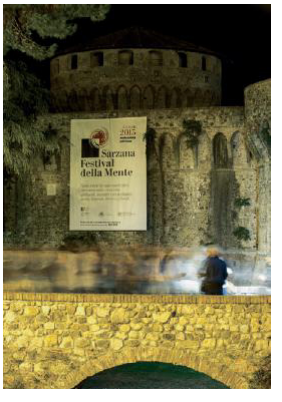
Com'è nata la vita? Dove e quando? E a che cosa somigliavano le prime forme di organismi? Il libro scritto a quattro mani dal chimico organico Raffaele Saladino, dell'Università della Tuscia, e dal genetista molecolare Ernesto Di Mauro, della «Sapienza» Università di Roma, risponde a questi interrogativi delineando un percorso chiaro e affascinante sull'origine della vita, dal momento in cui è iniziata la strada evolutiva che porta fino a noi. «Anche se nessuno era lì a osservare i primi passi dell'organizzazione delle molecole che, interagendo tra loro, avrebbero portato alla comparsa delle prime protocellule, la ricerca sull'origine della vita ne ha, nel corso di ormai quasi un secolo, chiarito i meccanismi generali», scrivono gli autori.

Ogni cellula vivente, spiegano Saladino e Di Mauro, porta ancora oggi tracce di LUCA, cioè del *last universal common ancestor*, come viene indicato in inglese. In altre parole, si tratta della cellula madre da cui abbiamo ereditato le soluzioni genetiche e fisiologiche. LUCA infatti «è un punto di partenza, l'organismo dal quale sono derivati tutti gli organismi, le forme viventi che osserviamo oggi e quelle estinte che formano gli anelli di passaggio mancanti», spiegano gli autori. E dopo aver presentato una sintesi della storia del big bang, spiegano perché le condizioni energetiche nello spazio hanno favorito la combinazione di atomi diversi e la formazione delle prime molecole che «rappresentano, contemporaneamente, i precursori chimici e i mezzi di reazione per i processi di sintesi prebiotica che sono alla base dell'origine della vita». Un processo lungo e complesso, che Di Mauro e Saladino cercano di semplificare proponendo ai lettori dieci principi, ovvero regole generali che hanno governato il passaggio dal non vivente al vivente.

Simona Regina

Spazio alla creatività a Sarzana

Ancora più ricco di ospiti ed eventi rispetto alle già generose edizioni precedenti, dal 2 a 4 settembre torna il Festival della Mente di Sarzana, il primo festival in Europa dedicato alla creatività. «Quest'anno abbiamo scelto come filo conduttore la parola "spazio"», dichiarano Gustavo Pietropolli Charmet e Benedetta Marietti, che curano rispettivamente la direzione scientifica e quella artistica dell'evento sarzanese.



«Dallo spazio urbano allo spazio interstellare, dallo spazio delle relazioni allo spazio geometrico, "spazio" è un concetto molto attuale, che racchiude molteplici significati e può essere letto in molti modi.» Nelle tre giornate si alterneranno 61 relatori italiani e internazionali e saranno 39 gli appuntamenti tra incontri, spettacoli e approfondimenti.

Tanti i momenti dedicati alla scienza. Si parlerà di innovazione con Massimiano Bucchi, della nascita dello spazio e del tempo con il fisico del CERN Guido Tonelli, del rapporto tra sistema immunitario e sistema nervoso centrale con Alberto Mantovani. Spazio anche alle neuroscienze con Giacomo Rizzolatti e i neuroni specchio, e con il neurobiologo Lamberto Maffei. Per info: http://www.festivaldellamente.it. (*cb*)

Cortesia jrtphoto/festadellamente

Piume.
di Thor Hanson
Il Saggiatore, Milano, 2016,
pp. 450 (euro 22,00)

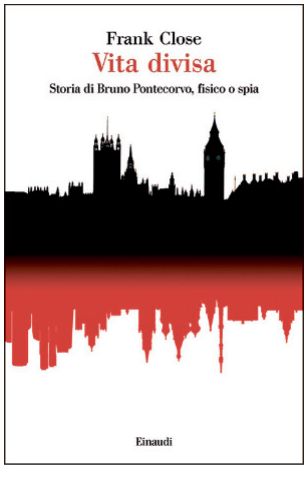
Una splendida invenzione dell'evoluzione

Che sia all'interno a una giacca comoda, ammirando il cappello di una dama o di alcuni corpi militari, o sotto una calda coperta, abbiamo spesso a che fare con le piume. Leggere, isolanti ed eleganti, nella storia dell'umanità hanno avuto tanti ruoli – ornamenti, merci di scambio, abiti, utensili – ma negli ultimi 150 anni sono diventate un affascinante oggetto di studio anche sulla base dei fossili incredibilmente ben conservati a Solnhofen, una delle icone della paleontologia moderna. In questa cava tedesca è stato ritrovato il primo fossile di *Archaeopteryx*, che mostrava chiaramente penne da uccello impresse nella roccia. Da allora si è aperto un nuovo capitolo, scritto cercando di capire quali siano state le tappe evolutive che hanno portato a questa splendida «invenzione».

Seguendo le diverse ipotesi sull'origine e lo sviluppo delle piume, le diverse sezioni di questo libro portano il lettore a spasso nel tempo e nello spazio. Nel tempo, perché si scava nella storia profonda della vita sulla terra: come si sono evoluti gli uccelli? Sono davvero gli «ultimi dinosauri»? E quando sono apparse le prime piume, a che cosa servivano? Tutte domande la cui risposta è ancora dibattuta nella comunità scientifica, con fazioni di ricercatori in attesa del prossimo fossile piumato per veder trionfare le proprie ipotesi. Riguardo allo spazio, gli uccelli sono diffusi ovunque, nei ghiacci polari e all'equatore, sono in grado di tuffarsi in acqua e di volare a migliaia di metri d'altezza. Il tutto grazie alle piume e alle penne, capaci di isolare relativamente l'organismo dalle condizioni esterne, sia nel caldo torrido sia nel freddo più intenso. Il segreto è nelle tante microscopiche sacche d'aria trattenute dalle minuscole sfrangiature delle piume, che diventano poi molto utili anche nel volo. Le tante piccole turbolenze generate da queste apparenti imperfezioni aiutano a migliorare l'efficienza del volo degli uccelli, qualcosa che da sempre ispira la nostra specie, e che tuttora è preso a esempio per tentare di perfezionare il volo degli aerei.

Ricco di aneddoti e informazioni, questo libro plana a volo d'uccello su tutta l'ornitologia contemporanea, discutendo di ecologia, evoluzione, storia, società, paleontologia e tanto altro. Anche la curiosità del lettore più esigente rimarrà soddisfatta dalle tante pagine dedicate a temi apparentemente noiosi ma in realtà, illuminati da una scrittura sempre brillante, accattivante, evidente frutto di una passione profonda. Da ottimo divulgatore, Thor Hanson riesce a trasmettere la stessa passione al lettore.

Mauro Capocci



Vita divisa.
di Frank Close
Einaudi, Torino, 2016,
pp. 448 (euro 35,00)

Indagine sul mistero di Bruno Pontecorvo

Il 1° settembre 1950 Bruno Pontecorvo prende un volo da Roma per Stoccolma con la famiglia, da lì prosegue per Helsinki e poi verso l'URSS. Di loro non si saprà più nulla fino al 1955: il «cucciolo» dei ragazzi di via Panisperna, che nel dopoguerra era ormai un fisico di fama internazionale corteggiato da molti centri di ricerca, scompare oltre la cortina di ferro. Sono gli ultimi anni dell'Unione Sovietica di Stalin, mentre negli Stati Uniti infuria il maccartismo che vede il virus del comunismo espandersi ovunque.

Frank Close, docente all'Università di Oxford e prolifico divulgatore, sembra avere una particolare affezione per la figura del fisico italiano, dal quale fu affascinato fin da quando era un giovane studente. Sarà anche perché la sua città di residenza, Abingdon-on-Thames, è la stessa in cui Pontecorvo viveva prima del rocambolesco trasferimento, durante le vacanze estive in Italia, nella patria dei Soviet. Ma questa «aria di famiglia» non impedisce a Close di condurre un'indagine serrata e obiettiva sulla vicenda di Pontecorvo, cercando una risposta alla domanda che nei mesi e negli anni successivi alla scomparsa ricorreva sulla bocca di tutti nei paesi occidentali: Pontecorvo era una spia sovietica? L'indagine di Close è condotta sulla base di numerose interviste a familiari, amici e colleghi, e sui documenti desecretati dei servizi segreti, oltre a far tesoro di libri come *Il lungo freddo* (Rizzoli) di Miriam Mafai e *Il caso Pontecorvo* (Sironi) di Simone Turchetti. Close ribadisce in più punti che non sono mai state trovate, né lui è riuscito a scovarle, prove che Pontecorvo, vicino agli ideali comunisti sin da giovane, fosse stato ingaggiato come spia dai sovietici prima del 1950. Anche se ammette che diversi indizi rendono verosimile l'idea. Si sofferma ad analizzare documenti recentemente desecretati che dimostrano come in quei mesi del 1950, dopo l'arresto per attività di spionaggio di un fisico collega di Pontecorvo, l'attenzione dei servizi segreti anglosassoni stringesse il cerchio attorno allo stesso Pontecorvo, sospettato di aver passato informazioni all'URSS: un'attenzione che potrebbe aver contribuito in qualche modo a far decidere Pontecorvo a oltrepassare la cortina di ferro.

Al di là della tensione da *spy story* che innerva tutto il libro, il merito di Close è costruire una ricca biografia scientifica di Pontecorvo, mettendo in luce il suo raro profilo di fisico teorico e sperimentale, e i suoi notevoli contributi allo studio dell'interazione debole e soprattutto dei neutrini, che probabilmente gli avrebbero valso un premio Nobel se la sua attività non avesse subito forti limitazioni dopo la scelta di vivere in URSS.

Marco Motta

Il mondo estremo delle particelle

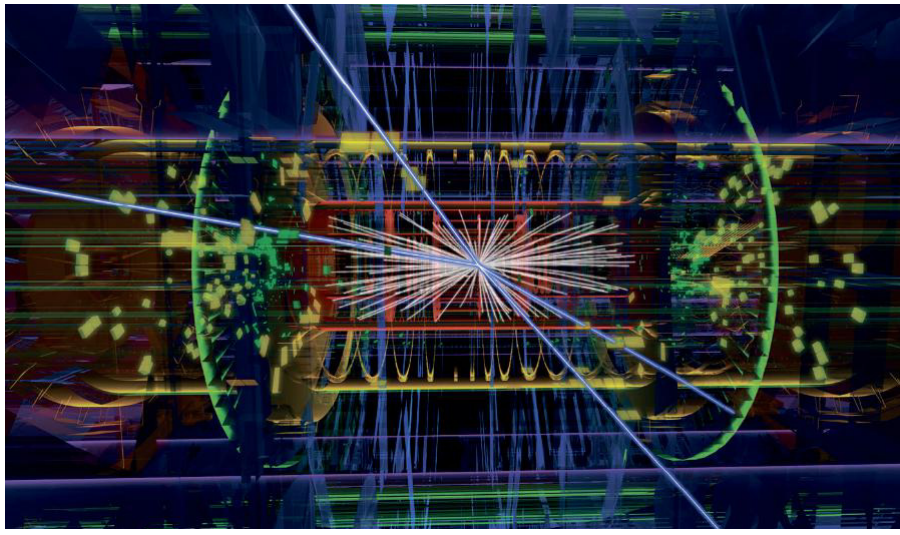
Il Museo nazionale della scienza e della tecnologia di Milano ha inaugurato una mostra permanente sulle particelle e i giganteschi collisori usati per studiarle

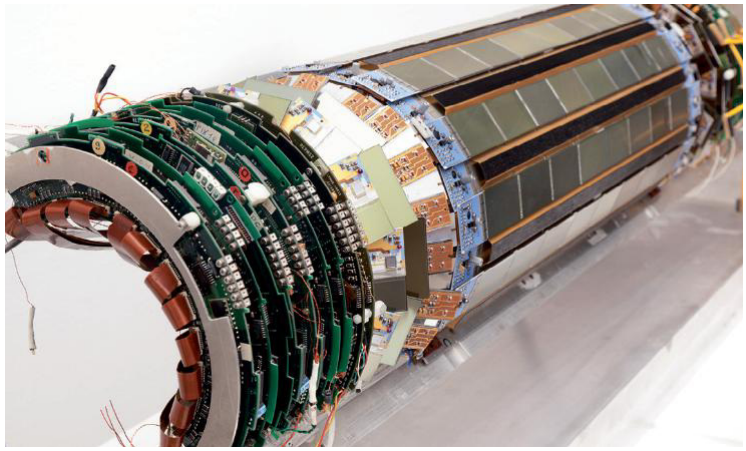
In una disciplina dalle frontiere in costante mutamento, in cui gli strumenti possono misurare decine di chilometri e gli esperimenti protrarsi per anni, di tanto in tanto conviene fermarsi e fare il punto della situazione. Quanto ne sappiamo della fisica delle particelle? Quante migliaia di ricercatori ci lavorano e quali strumenti usano? Queste scoperte hanno applicazioni concrete nella vita di tutti i giorni? Per soddisfare questi interrogativi nasce *Extreme*, la nuova mostra permanente del Museo nazionale della scienza e della tecnologia «Leonardo da Vinci» di Milano, allestita in collaborazione con l'Istituto nazionale di fisica nucleare (INFN) e il CERN di Ginevra.

Partendo dal concetto di «traccia», l'elemento di studio fondamentale di tutte le discipline in cui è impossibile osservare direttamente un evento, la mostra trascina il visitatore in un viaggio la cui meta è rappresentata proprio dai mattoncini fondamentali che compongono l'universo. Il percorso espositivo di *Extreme* si snoda tra alcuni degli strumenti che hanno fatto la storia della fisica delle particelle. Si va dalla pionieristica camera a nebbia usata negli anni cinquanta alle componenti dei rilevatori oggi impiegati negli esperimenti dell'INFN, passando per il prototipo di una sezione dell'esperimento UA1, i cui risultati hanno permesso a Carlo Rubbia di ricevere il premio Nobel per la fisica nel 1984.

Una parte rilevante della mostra è riservata al Large Hadron Collider del CERN e ad altri acceleratori, o meglio collisori di particelle. L'esposizione delle singole e colossali componenti sono accompagnate da postazioni interattive grazie a cui i visitatori possono capire il funzionamento degli acceleratori. Parallelamente all'evoluzione delle macchine, un'installazione propone gli scatti del fotografo svizzero Andri Pol, che per due anni ha immortalato la quotidianità di fisici, ingegneri e tecnici impegnati negli esperimenti al CERN; grazie alla raccolta delle testimonianze orali di questi addetti ai lavori i visitatori potranno curiosare nella vita dei ricercatori italiani, immedesimandosi nelle loro esperienze. Infine, alcune postazioni multimediali propongono lo stato attuale di conoscenza delle particelle subatomiche e due temi dibattuti ancora oggi: la materia oscura, la cui natura per ora rimane misteriosa, e le extra-dimensioni della realtà. A questo punto il percorso espositivo si conclude, ma non termina invece la ricerca scientifica, che prosegue il suo viaggio verso nuove frontiere.

Davide Michielin





In mostra. Evento di collisione che ha prodotto quattro muoni nel rivelatore ATLAS del LHC (*in alto*); microrivelatore di vertice dell'esperimento DELPHI (*sopra*); restauro dell'acceleratore Cockroft-Walton (*accanto*).

Dove & quando:

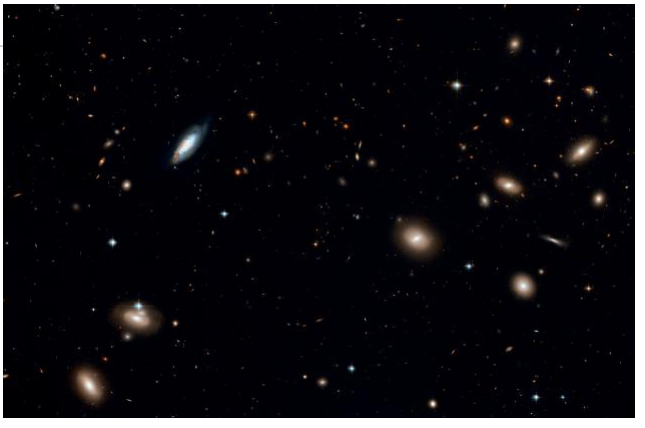
Extreme
Museo nazionale
della scienza e della tecnologia
«Leonardo da Vinci»,
Via San Vittore, 21 Milano
http://www.museoscienza.org/

Cortesia CERN (*in alto*); cortesia Alessandro Nassiri/Museo nazionale scienza e tecnologia (*al centro*); cortesia Giulia Tini/Museo nazionale scienza e tecnologia (*in basso*)

Il nostro posto nel cosmo

di Noam L. Libeskind e R. Brent Tully

La Via Lattea, di cui il sistema solare occupa un piccolo angolo periferico, fa parte di un enorme superammasso di galassie che forma una delle più grandi strutture note dell'universo. La scoperta di questa struttura, battezzata dagli astronomi Laniakea, che in hawaiiano significa «paradiso incommensurabile», è solo l'inizio di una nuova indagine sulla geografia del cosmo.



Videogiochi per la mente

di Daphne Bavelier e C. Shawn Green

Sparare agli zombie e combattere gli alieni può migliorare in modo permanente le nostre capacità cognitive. Una serie di abilità mentali, fra cui l'attenzione, la velocità di elaborazione delle informazioni e la flessibilità nel passare da un compito a un altro, sembra infatti trarre beneficio dai videogiochi.

Il ritorno di Ebola

di Seema Yasmin

L'epidemia di Ebola in Africa è stata dichiarata ufficialmente conclusa, ma i sopravvissuti rischiano la cosiddetta «sindrome post-Ebola», che include problemi neurologici e visivi e dolori muscolari e articolari. E che potrebbe essere causata da residui nascosti del virus o da un'eccessiva reazione immunitaria.

LE SCIENZE S.p.A.

Sede legale: Via Cristoforo Colombo 98, 00147 ROMA.

Redazione: tel. 06 49823181
Via Cristoforo Colombo 90, 00147 Roma
e-mail: redazione@lescienze.it
www.lescienze.it

Direttore responsabile
Marco Cattaneo

Redazione
Claudia Di Giorgio (*caporedattore*), Giovanna Salvini (*caposervizio grafico*), Cinzia Sgheri, Ale Sordi (*grafico*), Giovanni Spataro

Collaborazione redazionale
Folco Claudi, Gianbruno Guerrerio
Segreteria di redazione: Lucia Realacci
Progetto grafico: Giovanna Salvini

Referente per la pubblicità
A. Manzoni & C. S.p.A.
agente Daria Orsi (tel. 02 57494475, 345 4415852)
e-mail dorsi@manzoni.it

Pubblicità:
A. Manzoni & C. S.p.A.
Via Nervesa 21, 20139, Milano, telefono: (02) 574941

Stampa
Puntoweb, Via Variante di Cancelliera, snc, 00040 Ariccia (RM).

Consiglio di amministrazione
Corrado Corradi (presidente), Michael Keith Florek (vice presidente), Gabriele Acquistapace, Markus Bossle, Stefano Mignanego

Responsabile del trattamento dati (D. lgs. 30 giugno 2003 n.196):
Marco Cattaneo

Registrazione del Tribunale di Milano n. 48/70 del 5 febbraio 1970.
Rivista mensile, pubblicata da Le Scienze S.p.A.
Printed in Italy - luglio 2016

Copyright © 2016 by Le Scienze S.p.A.

ISSN 2499-0590

Tutti i diritti sono riservati. Nessuna parte della rivista può essere riprodotta, rielaborata o diffusa senza autorizzazione scritta dell'editore. Si collabora alla rivista solo su invito e non si accettano articoli non richiesti.

SCIENTIFIC AMERICAN

Editor in Chief: Mariette DiChristina; *Executive editor*: Fred Guterl; *Managing Editor*: Ricki L. Rusting; *Board of Editors*: Mark Fischetti, Christine Gorman, Anna Kuchment, Michael Moyer, Gary Stix, Kate Wong, David Biello, Larry Greenemeier, Ferris Jabr, John Matson

President Steven Inchcoombe;
Executive vice president: Michael Florek;
Vice president and associate publisher: Michael Voss;
Design Director, Michael Mrak

Hanno collaborato a questo numero
Per le traduzioni: Silvia Baldi: *L'ascesa dei mammiferi;* Daniele Gewurz: *Fuochi d'artificio stellari;* Lorenzo Lilli: *Prevenire le guerre del clima*; Alfredo Tutino: *Dobbiamo aver paura di robot troppo bravi?, La verità sulle auto «che si guidano da sole», Macchine che imparano.*

Notizie, manoscritti, fotografie, e altri materiali redazionali inviati spontaneamente al giornale non verranno restituiti.

In conformità alle disposizioni contenute nell'articolo 2 comma 2 del «Codice Deontologico relativo al trattamento dei dati personali nell'esercizio dell'attività giornalistica ai sensi dell'Allegato A del Codice in materia di protezione dei dati personali ex d.lgs. 30 giugno 2003 n.196», Le Scienze S.p.A. rende noto che presso la sede di Via Cristoforo Colombo, 90, 00147, Roma esistono banche dati di uso redazionale. Per completezza, si precisa che l'interessato, ai fini dell'esercizio dei diritti riconosciuti dall'articolo 7 e seguenti del d.lgs.196/03 - tra cui, a mero titolo esemplificativo, il diritto di ottenere la conferma dell'esistenza di dati, la indicazione delle modalità di trattamento, la rettifica o l'integrazione dei dati, la cancellazione ed il diritto di opporsi in tutto od in parte al relativo utilizzo - potrà accedere alle suddette banche dati rivolgendosi al Responsabile del trattamento dei dati contenuti nell'archivio sopraindicato presso la Redazione di Le Scienze, Via Cristoforo Colombo, 90, 00147 Roma.

ABBONAMENTI E ARRETRATI
SOMEDIA S.p.A.
Casella Postale 10055 - 20111 Milano
Abbonamenti: abbonamentiscienze@somedia.it
Arretrati e prodotti opzionali: lescienzevendite@somedia.it
Tel. 199.78.72.78 (0864.256266 per chi chiama da telefoni cellulari. Il costo massimo della telefonata da rete fissa è di 14,37 cent di euro al minuto più 6,24 cent di euro di scatto alla risposta (iva inclusa). Per chiamate da rete mobile il costo massimo della chiamata è di 48,4 cent di euro al minuto più 15,62 cent di euro di scatto alla risposta (iva inclusa). Fax 02 26681991.
Abbonamenti aziendali e servizio grandi clienti
Tel. 02 83432422; fax 02 70648237;
mail grandiclienti@somedia.it

Italia

abb. annuale	€ 39,00
abb. biennale	€ 75,00
abb. triennale	€ 99,00
copia arretrata	€ 9,00

Estero

abb. annuale Europa	€ 52,00
abb annuale Resto del Mondo	€ 79,00

Accertamento diffusione stampa certificato n. 8099 del 6/4/2016

Cortesia NASA/ESA/Hubble Heritage Team STScI/AURA (*galassie*); Seema Yasmin (*Ebola*)

Le Scienze

edizione italiana di Scientific American

DA COLLEZIONARE E CONSERVARE!

PER TE SCONTI, VANTAGGI E PRIVILEGI ESCLUSIVI. ABBONATI!

Ogni mese Le Scienze ti informa sulle ultime frontiere della ricerca scientifica e tecnologica.

E, **solo con l'abbonamento**, ti assicuri la possibilità di consultare sul sito **www.lescienze.it** gli oltre 4.200 articoli pubblicati dal 1968 ad oggi!

Se lo desideri, **puoi regalare l'abbonamento** a chi vuoi tu!

Fino al 38% di sconto

SCEGLI LA TUA OFFERTA!

DURATA	PREZZO di copertina	PREZZO PER TE	RISPARMIO
1 ANNO 12 numeri	~~€54,00~~	**€39,00**	**€15,00**
2 ANNI 24 numeri	~~€108,00~~	**€75,00**	**€33,00**
3 ANNI 36 numeri	~~€162,00~~	**€99,00**	**€63,00**

Offerta valida solo per l'Italia fino al 31/12/2016

ABBONATI O REGALA L'ABBONAMENTO!

- **CONVENIENTE!**
  Più aumenta la durata del tuo abbonamento, più aumenta il risparmio. E il prezzo rimane bloccato!
- **FACILE!**
  - ✔ **Collegati al sito www.ilmioabbonamento.it**
  - ✔ **Chiama il n. 199.78.72.78*** fornendo i dati della tua carta di credito

*0864.25.62.66 per chi chiama da telefoni non abilitati o cellulari. Il costo massimo della telefonata da rete fissa è di 14,48 cent di euro al minuto più 6,29 cent di euro di scatto alla risposta (iva inclusa). Per chiamate da rete mobile il costo massimo della chiamata è di 48,8 cent di euro al minuto più 15,75 cent di euro di scatto alla risposta (iva inclusa).

  - ✔ **Compila, stacca e spedisci - anche via fax - la cartolina che trovi nella rivista**

EXPRESS YOURSELF IN MOTION

NISSAN

Innovation that excites

Nissan Juke. The Original Urban Crossover.

Stile unico, con interni personalizzati a scelta tra **4 colori** e **cerchi in lega da 17".** Sempre connesso con le tue passioni, grazie al sistema multimediale **NissanConnect.** Ancora più tecnologia e comfort con **Rear View Camera, climatizzatore automatico, Intelligent Key** e **bagagliaio da 354 lt** con piano di carico regolabile.

VALORI MASSIMI CICLO COMBINATO: CONSUMI 7,6 l/100 km; EMISSIONI CO_2 169 g/km.

MESSAGGIO PUBBLICITARIO CON FINALITÀ PROMOZIONALE. LE IMMAGINI INSERITE SONO A SCOPO ILLUSTRATIVO. LE CARATTERISTICHE E I COLORI POSSONO DIFFERIRE DA QUANTO RAPPRESENTATO.